

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh a realizace typové audiosoustavy

Design and Realization of the Types Audiosystem

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou/diplomovou práci užít (§35 ods. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské/diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a údaje o bakalářské /diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Podpis studenta

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce Ing. Martinu Markovi, Ph.D. za vedení, při tvorbě práce, za jeho rady a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat rodičům, přítelkyni a blízkému okolí, kteří mně podporovali po celou dobu magisterského studia.

Abstrakt:

Tato diplomová práce obsahuje teorii o reproduktorech, reproduktorových soustavách a nízkofrekvenčních audio zesilovačích. Jsou zde popsány parametry potřebné pro návrh reproduktorových soustav a nízkofrekvenčních zesilovačů.

Další část diplomové práce se zabývá vlastním návrhem audio soustavy a její realizací. Spolu s realizovanou audio soustavou jsou provedeny základní měření na této audio soustavě.

V závěru práce jsou zhodnoceny výsledky měření audiosoustavy a porovnány s teoretickými návrhy. Pro zajímavost jsou uvedeny finanční náklady na celou audiosoustavu a časová náročnost.

Klíčová slova:

Nízkofrekvenční zesilovač, reproduktor, reproduktorová soustava, reproduktorová výhybka, ozvučnice, měnič, zvuk, bassreflex

Abstrakt:

This thesis includes the theory of speakers , speaker systems and low-frequency audio amplifiers. Parameters needed for design of speaker systems and audio amplifiers are described.

The next part of the thesis deals with its own project of the audio system and its implementation. In addition to the implemented audio system the basic measurements are made.

In conclusion of the thesis the results of audio system measurements are evaluated. Financial costs and time- consuming of the entire audio system are listed out of curiosity.

Keywords:

Audio amplifier, speaker, zoned speaker system, speaker crossover, baffle, converter, sound, bassreflex

Seznam základních použitých symbolů, zkratek a značek:

Symbol	Název	Jednotka
U	Napětí	V
I	Proud	A
R	Elektrický odpor	Ω
f	Kmitočet	Hz
f _s	Rezonanční kmitočet	Hz
A	Útlum	dB
L	Elektrická indukčnost	H
Q _{es}	Elektrický činitel jakosti	
Q _{ms}	Mechanický činitel jakosti	
Q _{ts}	Celkový činitel jakosti	
Z	Impedance	Ω
V _{as}	Ekvivalentní objem	m ³
V _b	Objem ozvučnice	m ³
NF	Nízkofrekvenční	
l	Délka	m
C	Elektrická kapacita	F
Re	Reálný odpor cívky	Ω
Le	Indukčnost cívky reproduktoru	H
DPS	Deska plošného spoje	
ČSN	Česká státní norma	
SPL	Hladina akustického tlaku	dB
EBP	Činitel pro určení typu ozvučnice	
S _d	Plocha membrány reproduktoru	cm ²
V _d	Objem vzduchu rozhýbaného membránou	cm ³
DIN	Německá národní norma	
P	Výkon	W
MDF	Materiál pro konstrukci ozvučnic	
m	Hmotnost	Kg
f _{dd}	Dolní mezní kmitočet	Hz
f _{dh}	Horní mezní kmitočet	Hz
MC7	Software pro simulaci elektrických obvodů	
SIA	Software pro vyhodnocení spektrální analýzy	
AutoCad	Software pro tvorbu technických výkresů	

OBSAH

1.	ÚVOD	9
2.	ZVUK A JEHO PARAMETRY	10
2.1.	Co je to zvuk	10
2.2.	Zdroje zvuku	10
2.3.	Dělení zvuků	10
2.4.	Lidské slyšení	11
2.5.	Parametry zvuku	11
2.6.	Pojmy související se zvukem	14
3.	REPRODUKTOR	14
3.1.	Co je to reproduktor	14
3.2.	Princip funkce reproduktoru	15
3.3.	Konstrukce reproduktoru	15
3.4.	Parametry reproduktoru	17
3.5.	Dělení reproduktorů	20
3.5.1.	Podle způsobu vyzařování	20
3.5.2.	Podle pohonu reproduktoru	20
3.5.3.	Podle frekvenčního rozsahu	21
4.	ZESILOVAČE	23
4.1.	Dělení zesilovačů z hlediska	23
4.1.1.	Aktivních součástí	23
4.1.2.	Podle frekvence vstupního signálu	23
4.1.3.	Podle velikosti vstupního signálu	24
4.1.4.	Podle polohy klidového pracovního bodu	24
4.1.5.	Podle šířky přenášeného kmitočtového pásma	24
4.1.6.	Podle vazby mezi zesilovacími stupni	24
4.2.	NF – nízkofrekvenční audio zesilovače	25
4.3.	Podpůrné obvody NF audio zesilovačů	25
4.3.1.	Napájecí zdroje	25
4.3.2.	Obvody ochrany reproduktorů	25
4.3.3.	Obvody pro tepelnou ochranu zesilovače	25
4.3.4.	Obvody elektronického proudového omezení	26
4.4.	Parametry NF audio zesilovačů	27
4.4.1.	Přenosové pásmo – frekvenční charakteristika	27
4.4.2.	Odchylka mezi stereofonními kanály	27
4.4.3.	Harmonické zkreslení	27
4.4.4.	Intermodulační zkreslení	27
4.4.5.	Přeslech mezi kanály	28
4.4.6.	Přeslech mezi vstupy	28
4.4.7.	Jmenovitý výstupní výkon	28
4.4.8.	Hudební výkon	28
4.4.9.	Výkonová šířka pásma	28
4.4.10.	Vnitřní impedance zesilovače	29
4.5.	Chlazení zesilovačů	29
5.	REPRODUKTOROVÉ SOUSTAVY	30
5.1.	Komponenty reproduktorové soustavy	30
5.2.	Dělení reproduktorových soustav	31
5.3.	Parametry reproduktorových soustav	32
6.	OZVUČNICE	34
6.1.	Co je to ozvučnice	34
6.2.	Dělení ozvučnic	34
6.2.1.	Ozvučnice otevřená	34
6.2.2.	Ozvučnice uzavřená	34
6.2.3.	Ozvučnice Bassreflex	35

6.3.	Konstrukce ozvučnic	36
6.3.1.	Obecné zásady	36
6.3.2.	Materiály pro konstrukci ozvučnic	36
6.3.3.	Spojování stěn	37
6.3.4.	Vyztužování skříně	37
6.3.5.	Tlumení stojatých vln	37
7.	FREKVENČNÍ FILTRY – VÝHYBKY	39
7.1.	Dělení reproduktorových výhybek	39
7.2.	Dělení filtrů reproduktorových výhybek	39
7.3.	Stanovení dělících kmitočtů	40
7.4.	Volba strmosti jednotlivých filtrů	40
7.5.	Zatížitelnost výhybky	40
7.6.	Připojování reproduktorů k výhybce	41
8.	NÁVRH A REALIZACE REPRODUKTOROVÉ PÁSMOVÉ SOUSTAVY	43
8.1.	Výběr reproduktorů pro soustavu	43
8.1.1.	Basový reproduktor Beyma 8WOOFER/P – V2	43
8.1.2.	Středobasový reproduktor Beyma 5MP60N	44
8.1.3.	Vysokotónový reproduktor Beyma CP16	45
8.2.	Výpočet parametrů ozvučnice	45
8.3.	Výroba reproduktorové soustavy	48
8.4.	Návrh výhybky	49
8.5.	Výroba výhybky	52
9.	NÁVRH A REALIZACE NF ZESILOVAČE	53
9.1.	Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí NZD8A45	56
9.2.	Stereofonní předzesilovač PSP6541	57
9.3.	NF korekční zesilovač RSD4132	58
9.4.	NF koncový zesilovač KSD8251	60
9.5.	Modul celkové ochrany XSJ2168	61
9.6.	Indikátor úrovně výkonu BSJ3915	63
9.7.	Výroba NF zesilovače	64
10.	MĚŘENÍ A SIMULACE PROVEDENÉ NA AUDIOSOUSTAVĚ	65
10.1.	Frekvenční analýza reproduktorové soustavy	65
10.2.	Směrová charakteristika reproduktorové soustavy	66
10.3.	Příkon NF zesilovače	67
10.4.	Simulace potlačení a zvýraznění basů NF zesilovače	67
11.	Finanční náklady na audiosoustavu	68
11.1.	NF výkonový zesilovač 2 x 125 W	68
11.2.	Reproduktorová soustava	69
11.3.	Frekvenční filtry - výhybky	70
11.4.	Celkové náklady na audiosoustavu	70
11.5.	Časová náročnost	70
12.	ZÁVĚR	71
13.	SEZNAM LITERATURY	73
14.	SEZNAM PŘÍLOH	74
15.	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
16.	SEZNAM TABULEK	76
17.	PŘÍLOHY	77

1. ÚVOD

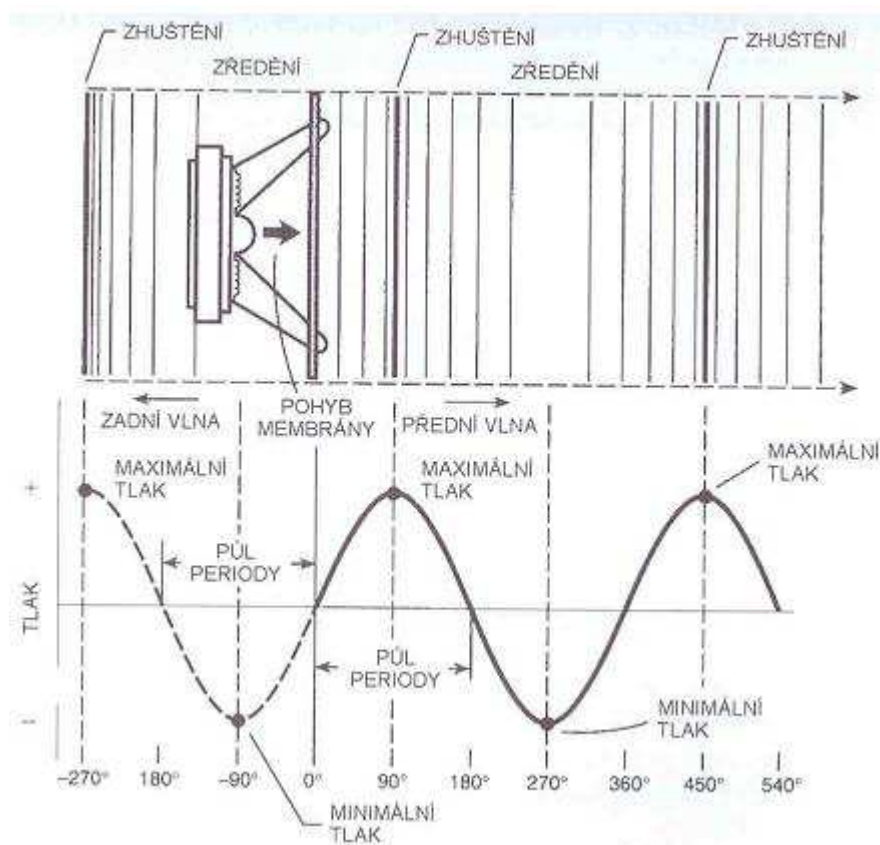
Tato diplomová práce se zabývá teorií o reproduktorech, reproduktorových soustav a NF zesilovačích. Návrhem reproduktorových soustav s bassreflexovou ozvučnicí metodou aproximace maximally flat a návrhem NF zesilovače. Práce obsahuje teoretické návrhy a výpočty potřebné pro realizaci. Dále obsahuje měření dané audio soustavy a výsledky měření. Ve zhodnocení celé práce jsou popsány možnosti zdokonalení audiosoustavy. K práci je také přiložena fotodokumentace postupné realizace NF zesilovače a třípásmové reproduktorové soustavy a podrobné výkresové dokumentace potřebné pro zhotovení základních konstrukčních prvků audiosoustavy.

2. ZVUK A JEHO PARAMETRY

2.1. Co je to zvuk

Kmitáním bodů a bodových soustav v určitém prostředí můžeme popsat jako vznik zvuku. Jde o mechanické vlnění, které je popisováno jako fyzikální děj. Teplota, atmosferický tlak, vlhkost, atd..daného prostředí mají vliv na vlastnosti tohoto vlnění.

Jestli se frekvence pohybuje v rozmezí 20Hz až 20000 Hz jde o rychlou změnu frekvence, kterou je lidské ucho schopno zachytit. Přičemž malé změny řádově jednotky Pascalů není schopné zachytit. Tyto rychlé a pomalé změny můžeme definovat jako zředování a zhušťování vzduchu.



Obr 2.1 Ilustrace podstaty vzniku zvuku [1]

2.2. Zdroje zvuku

Jsou kmitající tělesa. Chvění těles (hlasivek, strun, vzduchových sloupců, blan) se přenáší na okolní prostředí, v němž se šíří ve formě mechanického vlnění.

Zdroje tónů se dělí na:

- a) lineární – struny (housle, harfy, kytary)
- b) plošné – blány (bubny, tympány)
- c) prostorové – vzduchové sloupce v píšťálách (flétny trubky klarinety)

2.3. Dělení zvuků

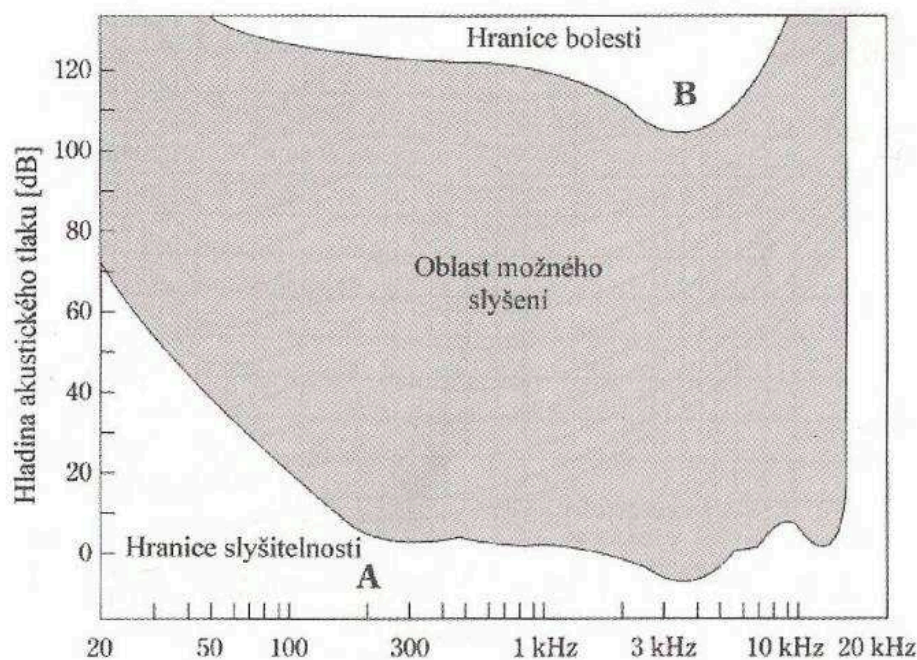
Podle časového průběhu:

- a) Hudební zvuky – neboli tóny mají pravidelný průběh - harmonické - jednoduché tóny
- složitější - složené tóny
- b) Nehudební zvuky – neboli hluky mají neperiodický průběh

2.4. Lidské slyšení

Schopnost slyšení u lidí je rozdílná. Zpravidla je ovlivněna stářím a zdravotním stavem daného jedince. Citlivost slyšení lidského ucha je frekvenčně závislá. Slyšení lidského ucha je nejvíce citlivé v oblasti od 1 kHz do 3,5 kHz. V tomto rozmezí ucho nejlépe slyší ale rovněž méně snese.

Ke ztrátě sluchu vede často vysoká intenzita zvuku. Při vysoké hlasitosti bývají vysoké frekvence škodlivější než nízké. Při vysoké hladině zvuku nebývá cítit bolest ale přesto dochází k poškození lidského ucha. Z tohoto důvodu bychom si měli svůj sluch velmi dobře chránit.



Obr.2.4 Vymezení oblasti možného slyšení lidského ucha [1]

2.5. Parametry zvuku

Výška zvuku

- a) Absolutní – je určena základní frekvencí zvuku (tónu)
- b) Relativní – je dána poměrem absolutní výšky daného tónu a absolutní výšky tónu základního

Barva zvuku

Určuje se pomocí násobků základní frekvence zvuku (tzv. vyšší harmonické frekvence) a jejich počtem a amplitudami ve složeném tónu. To způsobuje odlišné znění hudebních nástrojů, lidských hlasů atd..

Intenzita zvuku

Jde o zvukovou energii, která dopadá na jednotku plochy za určitou časovou jednotku.

$$I = \frac{E}{S \cdot t} = \frac{P}{S} [J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}, W \cdot m^{-2}]$$

kde E – energie, S – obsah plochy, t – doba, P - výkon

Hladina intenzity zvuku L

Jde o veličinu která definuje intenzitu zvuku v decibelech (dB). Zavádí se z důvodů, protože lidské vnímání je logaritmické (desetinásobnou intenzitu zvuku nevnímá jako desetinásobně hlasitější). Pro hladinu intenzity zvuku a intenzity zvuku platí tento převodní vztah:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} [dB]$$

kde I – intenzita zvuku, I_0 – práh slyšitelnosti

Práh slyšitelnosti – stanoven pro intenzitu $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ a rovná se 0 db

Práh bolesti – stanoven pro intenzitu $I = 10 \text{ W.m}^{-2}$ a rovná se 130 db

Decibel

Pro určování hladiny intenzity zvuku používáme jednotku decibel. Jde o bezrozměrnou jednotku, která určuje podíl dvou hodnot vyjádřených v logaritmické míře.

$$X_{dB} = 20 \log \frac{X}{X_0}$$

kde X_{dB} je hodnota v decibelech, X je změřená hodnota, X_0 je referenční hodnota.

Hlasitost

S intenzitou zvuku úzce souvisí veličina hlasitost. Informuje nás o citlivější reakci lidského ucha na určité rozmezí frekvencí a na tóny v určitém intervalu, které lidské ucho při menší intenzitě vnímá jako hlasitější. Lidské ucho je nejcitlivější v rozmezí 700 Hz až 6000Hz. Sluchový orgán je nejcitlivější asi při 3000 Hz (v důsledku rezonance vzduchového válce ve zvukovodu).

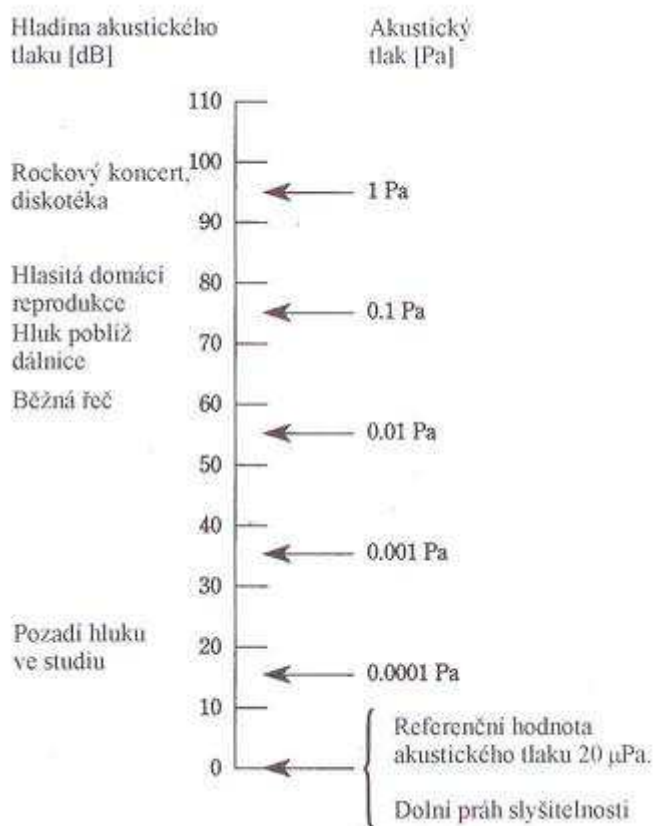
Hladina akustického tlaku

Zdravé lidské ucho vnímá akustický tlak při kmitočtech v rozmezí 1 khz až 3,5 khz (Rozmezí v němž je lidské ucho citlivější na zvukové signály.). Při zkoumání bylo zjištěno, že lidské ucho vnímá akustický tlak při hodnotě 20 μPa . Tato referenční hodnota odpovídá 0 dB hladině akustického tlaku (SPL).

$$L_p = SPL = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

SPL je hladina akustického tlaku, p je změřený akustický tlak, p_0 je referenční hodnota akustického tlaku.

Z obrázku si můžeme udělat představu o hodnotách SPL a o samostatných frekvencích ve spojitosti s okolním světem a hudebními nástroji.



Obr.2.5 Praktické hodnoty SPL [1]

V praxi se můžeme setkat s následujícími hodnotami.

Akustický tlak [Pa]	Hladina akustického tlaku [dB]	Vnímaná hlasitost	Zdroj zvuku
0,00002	0	Práh slyšitelnosti
0,0002	20	Extra tichá	tichá místnost, šelest listů
0,02	60	Střední	běžná řeč
0,2	80	Velmi hlasitá	městský provoz
2	100	Extra hlasitá	koncert, diskotéka
20	120	Práh bolesti	startující tryskové letadlo

Tab.2.5 Praktické hodnoty hladin akustického tlaku a přirovnání ke zdrojům zvuku

V praxi byl zaveden pojem hladiny akustického výkonu, který nám stanoví jak silně nám bude celá reprosoustava hrát. Akustický výkon je velikost energie vztažená k ozařované ploše. Velikost se vyjadřuje jako součin příkonu reprosoustavy a její účinnosti. Jde o poměrovou veličinu, proto byla určena referenční hodnota o velikost 1pW.

2.6. Pojmy související se zvukem

Infrazvuk

Jde o zvuky, které mají menší frekvenci než 16 Hz. Vnímají ji mořští živočichové, kteří jsou následně varováni před bouřemi atd... Blíží-li se frekvence infrazvuku frekvenci tlukotu srdce, může být škodlivá pro lidský organismus. Způsobuje nevolnosti, záchvaty, zástavy srdce a apod.. Zdroje ultrazvuku bývají stroje, hladina moře, zemětřesení a apod..

Ultrazvuk

Jde o frekvence přesahující 20 kHz. Používají se v lékařství, pro výrobu plynů z kapalin, k čištění jemných zařízení, k tavení kovů nebo skla, k identifikaci podvodní objektů a apod.. Lidské ucho nemá schopnost slyšení infrazvuku ani ultrazvuku.

Rezonance

Projevuje se u pevných předmětů, vniká v situaci, kdy vlastní frekvence předmětu je shodná s frekvencí dopadajícího zvuku. V pevném předmětu dochází ke vzniku stojatého vlnění. Při dostatečné intenzitě může dojít k rozpadnutí předmětu.

Odráz zvuku

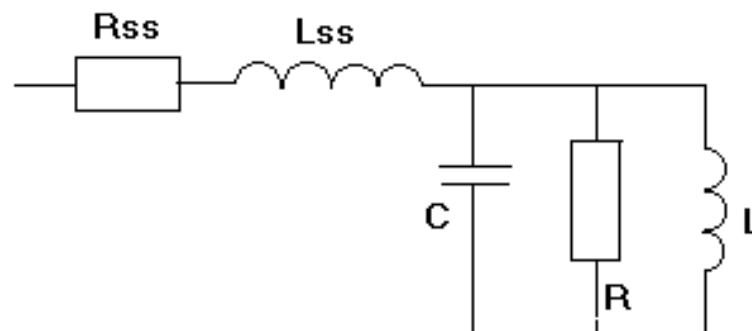
Zvuk se odráží na rozhraní dvou předmětů. Při odrazu v malé místnosti dojde ke splnutí s původním. Jestliže dorazí se zpožděním větším než 0,1 s, vnímáme ho odlišně od původního zvuku. Jde o jev zvaný ozvěna. Jestliže ozvěnu slyšíme i poté, kdy původní zvuk dozněl, nazýváme ji jako dozvuk.

3. REPRODUKTOR

3.1. Co je to reproduktor

Jde o zařízení sloužící k přeměně elektrické energie na energii akustickou. Z tohoto důvodu je někdy nazýván elektroakustickým měničem. Účinnost při této přeměně je velice malá, okolo jednotek procent. Většina elektrické energie se mění na tepelnou. Proto můžeme uvažovat, že reproduktor je jakési topné těleso, jehož vedlejším produktem je zvuk. Princip funkce je založen na vzájemném působení sil magnetického pole trvalého magnetu s magnetickým polem cívky, kterou protéká proud.

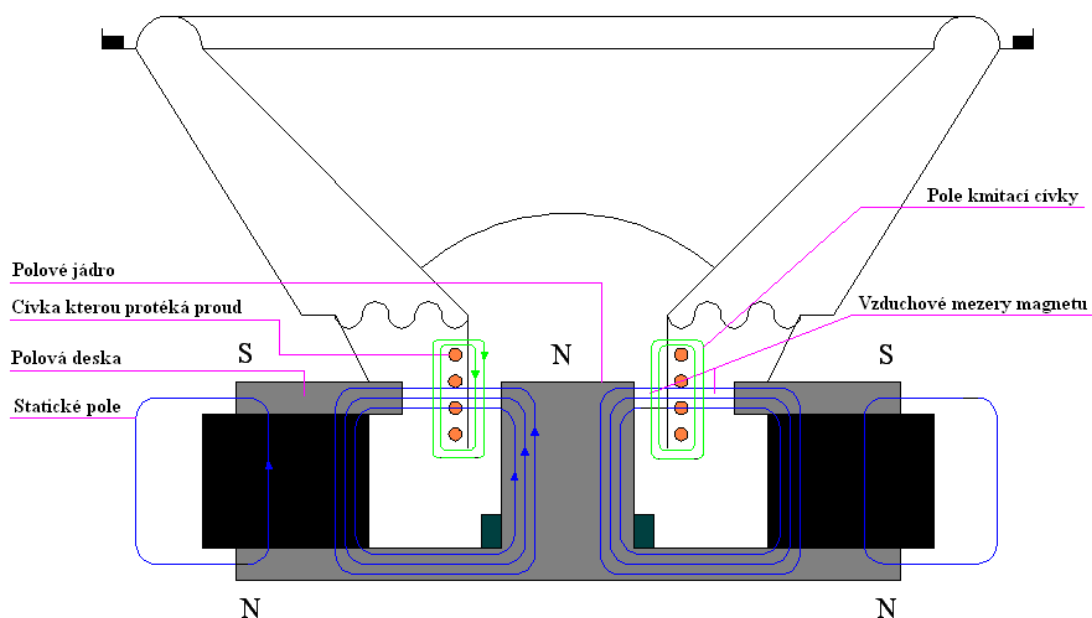
Náhradní schéma reproduktoru bez ozvučnice



Obr.3.1 Náhradní schéma reproduktoru

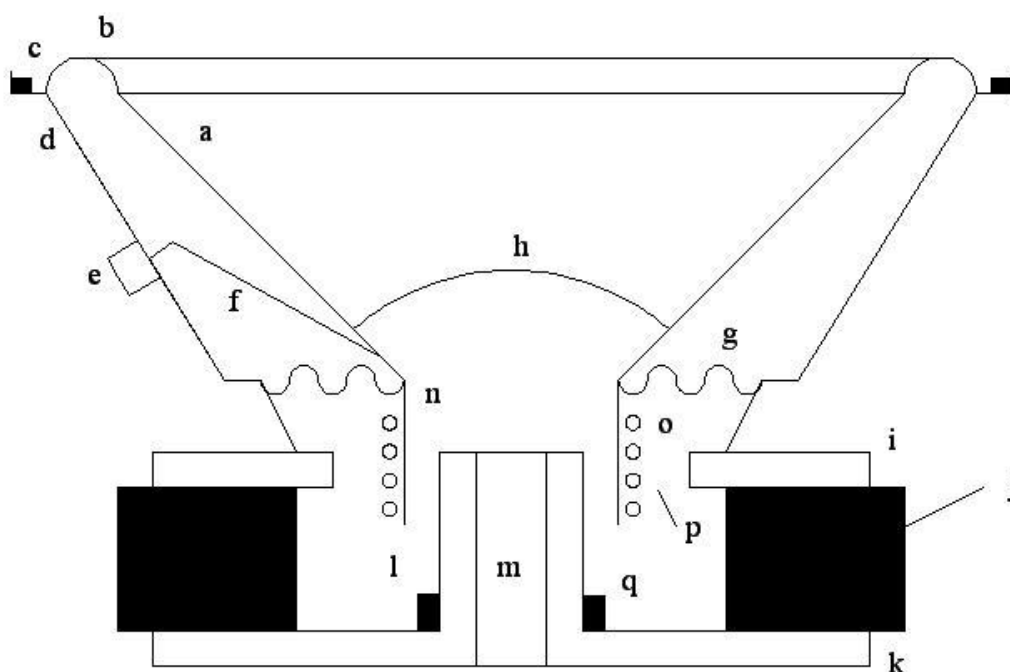
3.2. Princip funkce reproduktoru

Do cívky v magnetickém poli permannetního magnetu se přivádí elektrický signál získaný například v mikrofону a přenesený sdělovací soustavou – silové působení magnetického pole na cívku (vodič) s proudem má za následek rozkmitání cívky a uvedení do pohybu membrány, která je s cívkou spojena (membrána svým pohybem vyvolá vznik mechanického akustického vlnění). [6]



Obr.3.2 Funkce reproduktoru

3.3. Konstrukce reproduktoru



Obr.3.3 Konstrukční části reproduktoru

Popis k obrázku konstrukční části reproduktoru

- a. Vyzařovací membrána
- b. Závěs membrány
- c. Těsnění
- d. Koš
- e. Připojovací terminál
- f. Elektrické přívody ke kmitací cívce
- g. Středící membrána
- h. Vrchlík
- i. Horní deska
- j. Magnetický obvod
- k. Zadní deska
- l. Pólový nástavec
- m. Otvor pro odvod tepla
- n. Kostra kmitací cívky
- o. Kmitací cívka
- p. Mezera
- q. Zkratovací prstenec (proti přetížení reproduktoru)

Závěs membrány

Slouží k pružnému uchycení membrány. Má schopnost vymezovat kam až se může membrána pohybovat. Závěs membrány musí mít určitou pružnost, zamezuje aby se kmitací cívka pohybovala mimo otvor magnetu, musí mít časovou a teplotní stálost. Spolu s membránou určují parametry reproduktoru. [1]

Vyzařovací membrána

Úkolem vyzařovací membrány je přenos pístového pohybu cívky, přičemž dochází ke zhušťování a zředňování vzduchu a v důsledku toho vzniká zvuk. Mívá kuželovitý tvar se základnou ve tvaru kruhu nebo elipsy. Tvaru kulového vrchlíku se používá u výškových reproduktorů. Materiál pro výrobu membrány musí být tuhý a zároveň lehký, protože při pístovém pohybu dochází ke zkreslení zvuku kvůli deformaci membrány. Šíření deformační vlny je rychlejší obzvláště při vyšších kmitočtech. To lze vyčíst z impedanční charakteristiky reproduktoru. [1]

Středící membrána

Funkcí středící membrány je udržet kmitací cívku s membránou v ose vzduchové mezery magnetu (eliminace tření cívky o magnetický obvod). Také chrání magnetické ústrojí reproduktoru před vnikem nečistot. [1]

Zkratovací prstenec

Slouží k zmenšení modulace magnetického pole vlivem magnetického pole kmitací cívky. [1]

Připojovací terminál

Slouží k připojení reproduktoru do obvodu. Měl by být teplotně odolný a dobře pájitelný. Kladný pól reproduktoru bývá značen červenou barvou. [1]

Magnetický obvod

Permanentní magnet z magneticky měkkými pólovými nástavci je základním článkem magnetického obvodu. Soustřeďuje magnetickou energii do pracovní mezery magnetického ústrojí. Vyrábí se z magneticky tvrdých feritů, popřípadě nějakých slitin. Magnetický tok v mezeře udává účinnost celého obvodu. Pro chlazení se používá chladicího otvoru, který také zabraňuje kompresi vzduchu v kmitací cívce. [1]

Kmitací cívka

Kmitací cívka s magnetickým obvodem je nejdůležitější částí, která pohání celý reproduktor. Pro výrobu kostry kmitací cívky se používá teplotně odolný polyamid. Vinutí cívky bývá nejčastěji vyrobeno z měděného drátu. Jeho délka nám z pravidla určuje maximální výchylku reproduktoru. [1]

Koš reproduktoru

Spojuje reproduktor v celek. Měl by být vyroben z dostatečně tuhého materiálu, protože při pohybu membrány dochází k pnutí celého koše. Zvoleným materiálem pro výrobu zabráníme jeho deformaci. [1]

3.4. Parametry reproduktoru

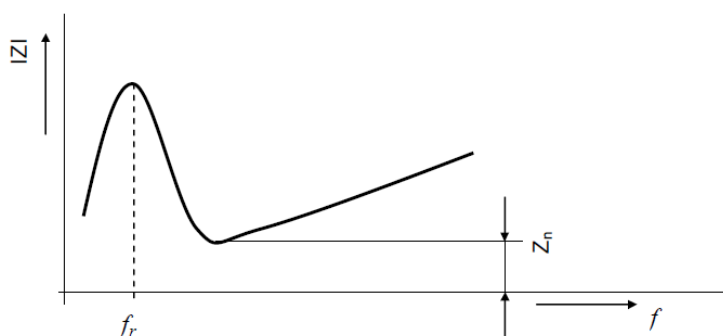
Zatížitelnost reproduktoru

Power - P_e (W)

Jedná se o dlouhodobý příkon reproduktoru. Bývá označován jako RMS , AES nebo jako Nominal Power. Hodnota zatížitelnosti závisí hlavně na konstrukci a velikosti kmitací cívky.

Impedance reproduktoru

Impedance reproduktoru vyjadřuje poměrnou veličinu střídavého napětí na svorkách reproduktoru ku procházejícímu střídavému proudu. Z charakteristiky lze vyčíst, že impedance je frekvenčně závislá.



Obr.3.4 Frekvenční závislost absolutní hodnoty impedance přímo vyzařujícího elektrodynamického reproduktoru

Jmenovitá impedance

Impedance - Z (Ω)

Je to hodnota udávaná výrobcem. Představuje rezistor kterým je nahrazen reproduktor, aby se mohl definovat elektrický výkon, který je dostupný ze zdroje. Zjednodušeně, reproduktor si po připojení můžeme představit jako odporovou zátěž připojenou k zesilovači. Hodnota je daná z výroby a dodatečně ji nelze měnit. Nejčastější hodnoty jsou 4 a 8 ohm. [7]

Charakteristická citlivost

Sensitivity - SPL (dB/W/m)

Udává úroveň akustického tlaku vyvolanou reproduktorem při vybuzení výkonem 1W naměřená ve vzdálenosti 1 m od reproduktoru. Zjednodušeně nám udává jak moc bude reproduktor hrát. Jde o logaritmickou veličinu, kdy při zvýšení o 3 dB dojde ke dvojnásobnému zvýšení akustického tlaku. Tzn., že reproduktor s vyšší citlivostí zahraje stejně nahlas jako dva reproduktory s nižší citlivostí, při stejném příkonu (porovnání při citlivosti 93 a 90 dB). [4]

Maximální akustický tlak

Max SPL (db)

Je hodnota jež udává množství hluku, které reproduktor vyprodukuje při maximálním příkonu. Tento parametr souvisí s příkonem reproduktoru a jeho citlivostí. Jestliže výkon do reproduktoru zvýšíme o jeden řád pak se akustický tlak zvýší o 10 dB. Při dvojnásobném výkonu oproti původní hodnotě se akustický tlak zvýší o 3 dB. Můžeme tedy říci, že je lepší věnovat větší pozornost také citlivosti reproduktoru. [4]

Elektrický činitel jakosti

Qes - Electrical Q-factor

Jde o parametr, který zohledňuje vliv elektrických ztrát v kmitací cívce reproduktoru. Podle velikosti můžeme zjistit kvalitu elektromagnetického ústrojí reproduktoru. Čím je hodnota menší, tím velikost elektromagnetického pohonu roste. Tento parametr nám také udává vhodnost použití určitého typu ozvučnice. Při hodnotách 0,2 až 0,3 je lepší použít ozvučnici typu bandpass, při hodnotách do 0,5 je lepší použít ozvučnici typu bassreflex. [4]

Mechanický činitel jakosti

Qms - Mechanical Q-factor

Parametr, který udává mechanické ztráty pohyblivých částí reproduktoru. Čím jsou hodnoty nižší tím je to lepší. [4]

Celkový činitel jakosti

Qts - Total Q-factor

Parametr zohledňující Qes a Qms. Čím je hodnota Qts menší tím lépe. Pro ozvučnici horny pod 0,3. Pro ozvučnici Bassreflex 0,25 až 0,4. při hodnotách vyšších než 0,4 nejlépe použít uzavřenou ozvučnici. [4]

Rezonanční kmitočet

Resonance Frequency - Fs (Hz)

Jde o rezonanční kmitočet reproduktoru ve volném prostoru. Při této hodnotě kmitočtu má reproduktor největší impedanci. Kdybychom membráně volně položeného reproduktoru bez ozvučnice dodali energii při které by se rozkmitala dosáhli bychom rezonanční kmitočtu. [4]

EBP - Efficiency Bandwidth Product

Je to poměr rezonanční frekvence ku elektrickému činiteli jakosti, pomocí kterého se určuje vhodnost použití určitého typu ozvučnice. Rozhodující je hodnota 50. [4]

Pro hodnotu EBP platí:

EBP < 50 – Uzavřená ozvučnice

EBP > 50 – Bassreflex ozvučnice

Tuto podmínku však na 100% nelze uplatnit. V praxi u profesionálních reproduktorových soustav se setkáváme s případy kdy tato podmínka není splněna. Záleží na více parametrech. Jde o tzv. Know – How firem zabývajících se výrobou reproduktorových soustav.

Ekvivalentní objem

Equivalent air volume - Vas (l)

Jde o parametr udávaný výrobcem, který nám napovídá jak velký objem ozvučnice by měl být použit pro daný reproduktor aby reproduktor dosáhl rezonančního kmitočtu. Dá se říci, že je to objem vzduchu v uzavřené ozvučnici, který by měl stejnou poddajnost jako závěs daného reproduktoru. [4]

Hmotnost membrány reproduktoru

Moving mass - M_{ms} (g)

Jak již název napovídá jde o hmotnost membrány. U reproduktorů platí, že čím lehčí membrána tím lepší. Hmotnost membrány velice ovlivňuje citlivost reproduktoru. Proto se u profesionálních reproduktorů membrány vyrábí z papíru. Zároveň také platí čím větší reproduktor tím těžší membrána. [4]

Poddajnost závěsu reproduktoru

Suspension compliance - C_{ms} (m/N)

Udává poddajnost závěsu membrány reproduktoru. Pro vyšší hodnoty platí, že závěs je poddajnější a tím lepší. Za provozu se však tento parametr mění. S rostoucí výchylkou se zmenšuje. Proto materiály pro závěs by měly být co nejméně závislé na okolních a provozních podmínkách. [4]

Silový faktor

Force factor - Bl (N/A)

Je součin síly magnetu a délky závitu v magnetickém poli. Jde o konstantu která převádí proud jdoucí do reproduktoru ze zesilovače a silou která rozkmitá membránu (síla vyvolaná v cívice). Čím větší reproduktor tím je hodnota Bl vyšší. [4]

Stejnoseměrný odpor kmitací cívky

DC voice coil resistance - R_e (ohm)

Tento parametr udává stejnosměrný odpor cívky reproduktoru. V přenášeném frekvenčním pásmu se jedná o nejnižší hodnotu impedance. Hodnota impedance reproduktoru nebývá stejná na celém frekvenčním pásmu. Lze tedy říci, že hodnota R_e je zákonitě menší než jmenovitá impedance. [4]

Indukčnost kmitací cívky

Voice coil inductance - L_e (mH)

Udává velikost indukčnosti kmitací cívky reproduktoru. Jedná se tedy o velikost magnetického indukčního toku kolem cívky a jednotkovém proudu procházejícím touto cívkou. Bývá ovlivněna počtem závitů, tvarem a rozměry cívky, prostředím apod.. [8,4]

Plocha membrány reproduktoru

Effective piston area – S_d (cm²)

Udává velikost plochy membrány reproduktoru. Plocha membrány reproduktoru roste přímo úměrně s jeho velikostí. [4]

Objem vzduchu rozhybaného membránou

Peak diaphragm displacement volume - V_d (cm³)

Jde o množství vzduchu, který membrána reproduktoru rozkmitá. Opět objem vzduchu roste přímo úměrně s velikostí reproduktoru. Pro větší hodnoty V_d se reproduktor hodí více do bassreflex ozvučnice, naopak pro menší hodnoty do uzavřené ozvučnice. [4]

Maximální povolená výchylka membrány reproduktoru

X_{max} (mm)

$X_{max} 0_{peak}$ – největší povolená výchylka membrány z klidového stavu do maximálního. Jde o hodnotu na jedné straně reproduktoru.

$X_{max} peak-peak$ – jde o dvojnásobnou hodnotu 0_{peak} , jelikož se membrána reproduktoru pohybuje do obou stran.

Pomocí X_{max} lze určit zda je reproduktor středobasový $X_{max} = 2$ až 5 mm. Nebo basový kdy $X_{max} = 6$ až 10 mm. [4]

Maximální výchylka před poškozením reproduktoru

Xlim / Xdamage (mm)

Hodnota Xlim nebo také Xdamage definuje maximální možnou výchylku membrány před poškozením reproduktoru. Po překročení tohoto parametru dochází k celkovému poškození reproduktoru. Jestli-že se tato hodnota překročí kmitací cívka narazí na dno magnetického obvodu, zdeformuje se a reproduktor není schopen jakékoli další činnosti. [4]

3.5. Dělení reproduktorů

Reproduktory lze rozdělit do mnoha kategorií podle různých kritérií. Podle způsobu vyzařování, podle způsobu pohonu nebo podle frekvenčního rozsahu.

3.5.1. Podle způsobu vyzařování

Přímovyzařující - Energie vyzařovaná kmitací membránou je přímo vystavena prostředí do kterého přenáší zvuk. S tímto typem reproduktorů se setkáváme nejčastěji.

Nepřímo vyzařující - V tomto případě je membrána, která přenáší zvuk oddělena od okolního prostředí akustickými obvodů nebo různými zvukovody. Požívají se pro zvětšení výkonu reproduktorových soustav.

3.5.2. Podle pohonu reproduktoru

Elektrodynamické - Nejběžněji používaným reproduktorem. Princip je založen na permanentním magnetu a kmitací cívce, která je pevně spojena s membránou reproduktoru. Cívka je umístěna v mezeře magnetu a pod vlivem magnetického pole vyvolaného proudem dochází ke kmitání cívky, která kmitavý pohyb přeneše na membránu a vzniká zvuk o určité frekvenci.



Obr.3.5.2.1 elektrodynamický reproduktor Beyma 15SW1300/Nd [16]

Elektromagnetické - Dnes již zastaralý typ konstrukce. U tohoto typu reproduktoru je membrána vyrobena z magnetického materiálu a cívka je napevno s jádrem. Kmitání membrány tak zajišťuje elektromagnet a ne cívka. Nevýhodou u těchto reproduktorů bylo velké zkreslení reprodukováného zvuku a malý kmitočtový rozsah. Výhoda spočívala v jednoduchosti celé konstrukce.



Obr.3.5.2.2 Hnací ústrojí elektromagnetického reproduktoru ARCOPHON

Elektrostatické - Membrána u těchto typů reproduktorů je potažena vodivou vrstvou a je umístěna mezi dvě pevně uchycené elektrody. Rozkmitání membrány je založeno na vzájemném odpuzování a přitahování elektricky nabitých desek. Velikou nevýhodou je potřeba vysokého napětí v řádech 100 a 1000 voltů.

Piezoelektrické - Založen na principu piezoelektrického jevu. Destička z piezoelektrického materiálu je spojena s membránou nebo přímo tvoří membránu. Používají se pro levnější vysokotonové reproduktory. Frekvenční charakteristika a zkreslení jsou nerovnoměrné. Konstrukce je jednoduchá a levná.



Obr.3.5.2.3 ukázka piezoelektrického reproduktoru

Plazmové - Reproduktory pracují bez membrány. Pro reprodukci zvuku se využívá změna tlaku vzduchu vyvolaná obloukovým výbojem nebo korónou.

3.5.3. Podle frekvenčního rozsahu

Hluboko - tónové - Často je nazýváme jako basové reproduktory. Výchylka membrány dosahuje velikosti až 5 mm. Vyznačují se svou velikostí o průměrech 150 až 600 mm. Membrána mívá malou tuhost zavěšení. Rezonance reproduktoru bývá co nejmenší. Kmitočtový rozsah se pohybuje v rozmezí 35 až 5000 Hz pro běžné basové reproduktory. Pro nízko rezonanční je v rozmezí 20 až 1500 Hz.



Obr.3.5.3.1 Basový reproduktor Beyma 21SW1600/Nd [6]

Středo - tónové - někdy je nazýváme jako středo pásmové. Materiály pro výrobu membrán k těmto reproduktorům jsou papír, kevlar nebo polypropylen. Mívají nízké zkreslení reprodukováného zvuku. Průměry těchto reproduktorů se pohybují v rozmezí 50 až 180 mm. Frekvenční rozsahy bývají v oblasti 80 až 12000 Hz.



Obr.3.5.3.2 Středotónový reproduktor Beyma 8MI100 [9]

Vysoko - tónové - V praxi se setkáváme s pojmem výškové reproduktory. Používají se pro levnou spotřební elektroniku. Pro profesionální použití se vyrábí tlakové výškové reproduktory, které se vyznačují vysokou účinností. Membrána mívá tvar kužele a vyrábí se z plastů, různých textilií, kovů apod.. Cívka u profesionálních reproduktorů bývá chlazena ferrofluidem, který také zabraňuje rezonanci systému. Průměry membrán se pohybují okolo 30 mm a frekvenční rozsah bývá 2000 až 20000 Hz.



Obr.3.5.3.3 Výškový reproduktor Beyma CP16 [17]

Širokopásmové - Jde reproduktory, které dokáží pokrýt skoro celé kmitočtové pásmo. Používají se v dopravě, televizorech a levné spotřební elektronice. Jejich frekvenční rozsah je od 45 až do 15000 Hz. Vyrábí se reproduktory které dokáží pokrýt celé frekvenční pásmo od 20 až do 20000 Hz. Jejich nároky na přesnost zvuku jsou malé. Mají omezenou zatížitelnost.



Obr.3.5.3.4 Širokopásmový reproduktor Beyma 10AG/N [18]

4. ZESILOVAČE

Obecně vzato zesilovač je elektronické zařízení, které je schopno na základě elektrické energie z vnějšího napájecího zdroje měnit parametry vstupního signálu. Jednoduše řečeno jde o elektronické zařízení, které slouží k zesílení a úpravě elektrických signálů. Radíme ho do kategorie dvojbranů (dvě vstupní svorky a dvě výstupní svorky).

U pojmu audiozesilovač jde o poslední aktivní člen, jehož úkolem je zesílit požadovaný signál s určitým výkonem a s přijatelným zkreslením.

4.1. Dělení zesilovačů z hlediska

4.1.1. Aktivních součástek

Elektronkové zesilovače - prvkem zesilujícím vstupní signál je elektronka. Jde o zesilovače s nejkvalitnějším zesílením signálu

Tranzistorové zesilovače - prvkem zesilujícím vstupní signál je zpravidla výkonový tranzistor nebo dvojice tranzistorů. Zpravidla musí být zajištěno dostatečné chlazení těchto koncových tranzistorů

Zesilovače s integrovanými obvody - schéma celého zesilovače zajišťujícího zesílení signálu a další potřebné obvody bývají umístěny v celku v integrovaném obvodu.

Zesilovače s jinými součástkami - jde o zesilovače jejichž zesilujícím nebo podpurným prvkem mohou být výbojky, optoelektrické prvky, relé atd..

4.1.2. Podle frekvence vstupního signálu

Nízkofrekvenční - rozsah vstupního signálu je 20Hz až 20kHz. Použití v elektroakustických zařízeních.

Vysokofrekvenční - frekvence vstupního signálu je větší než 20kHz. Použití k bezdrátovému přenosu zpráv.

Impulsové - zesilují jednotlivé impulzy. Použití u PC, notebooku, pro radiolokace nebo v televizní technice.

Stejnoseměrné - bývají nedílnou součástí měřících a regulačních zařízení a analogových počítačů atd..

Mikrovlnné - vstupní signál bývá řádově v GHz.

Operační - jde o univerzální analogové elektronické zesilovací obvody. Nejčastějším použitím jsou analogové a elektronické systémy a zařízení.

4.1.3. Podle velikosti vstupního signálu

Předzesilovače - zesilují signály malých úrovní. Nejčastější použití v kombinaci s výkonovými zesilovači.

Výkonové zesilovače - nečastěji se řadí v zapojení za předzesilovače. Nutnost použití chlazení zesilujících prvků kvůli vysokým proudům.

4.1.4. Podle polohy klidového pracovního bodu

Třída A - jde o nejjednodušší řešení zesilovače. Výstupní prvky zajišťující zesílení signálu stále vedou bez ohledu na časový průběh výstupního signálu. Mají vysokou linearitu, ale malou účinnost.

Třída B - výstupní prvky zajišťující zesílení signálu propouští jen jednu půlperiodu časového průběhu vstupního signálu. K zesílení celého signálu se používají kombinace dvou součástek (tranzistorů), kdy každá propouští kladnou nebo zápornou vlnu signálu. V této účinnost než ve třídě A. Větší zkreslení v oblasti signálu procházejícího nulou.

Třída AB - kombinace dvou předchozích tříd. Má větší účinnost než třída A ale menší zkreslení než třída B. To je realizováno posunutím pracovního bodu obou tranzistorů do oblasti nejmenších amplitud.

Třída C,D,G,H - třídy zesilovačů určených pro speciální použití v určitých oblastech

4.1.5. Podle šířky přenášeného kmitočtového pásma

Úzkopásmové

Širokopásmové

4.1.6. Podle vazby mezi zesilovacími stupni

Přímá vazba

Transformátorová vazba

RC vazba - neboli kapacitní. Patří mezi nejpoužívanější

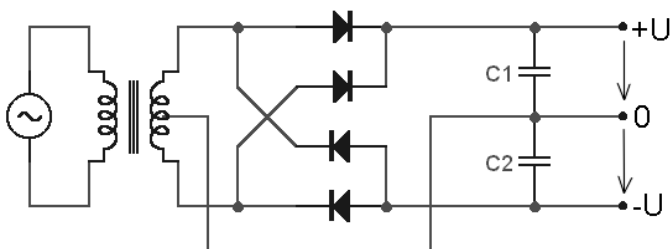
4.2. NF – nízkofrekvenční audio zesilovače

U NF audio zesilovačů jsou kladeny nároky na kvalitní reprodukci ale zároveň také na jeho bezpečný provoz z hlediska připojených reproduktorových soustav. Proto se k samotnému koncovému zesilovacímu stupni připojují ještě pomocné obvody, které mají zajistit funkce jako jsou samočinné odpojení reproduktorů při zničení zesilovacího prvku, zpoždění připojení zátěže (odstranění nelíbivého praskavého zvuku v reproduktorové soustavě při zapnutí zesilovače) zamezení proudového nárazu při zapnutí zesilovače, tepelná ochrana koncových zesilovacích stupňů atd.. Konstrukce těchto obvodů je různá a pro chod samotného zesilovače nejsou zcela nezbytné.

4.3. Podpůrné obvody NF audio zesilovačů

4.3.1. Napájecí zdroje

Většina NF zesilovačů je napájena symetrickým napětím. Konstrukce těchto zdrojů bývá v podstatě stejná. Vychází ze síťového transformátoru (nepatří do samotného zdroje), který má symetrické sekundární vinutí oddělené od primárního stínící folií (odstranění rušivých vlivů ze sítě). Tento bývá zpravidla připojen na diodový usměrňovač. Každá dioda mívá vyhlazovací (filtrační) kondenzátor, který zabrání vniku rušivých vlivů, které vznikají při usměrnění střídavého napětí. Zpravidla pak před výstupem ze zdroje bývá každá větev jištěna pojistkou. Středový sekundární transformátor se připojuje na společnou kostru zesilovače.



Obr.4.3.1.1 Základní zapojení zdroje symetrického napětí bez pojistek na výstupu zdroje [10]

4.3.2. Obvody ochrany reproduktorů

Slouží hlavně jak již název napovídá k ochraně reproduktorů před jejich samotným zničením. K tomu může dojít například při výskytu stejnosměrného napětí na výstupu zesilovače. Může být řešeno ochranou pomocí dvou relé na kterých je stejná velikost napětí. Kdy po výskytu stejnosměrného napětí relé rozeznou a reproduktory se odpojí. Dále může být u tohoto obvodu řešena ochrana zpožděné připojení zátěže, která odstraňuje praskavý zvuk v reproduktorech při samotném zapnutí zesilovače.

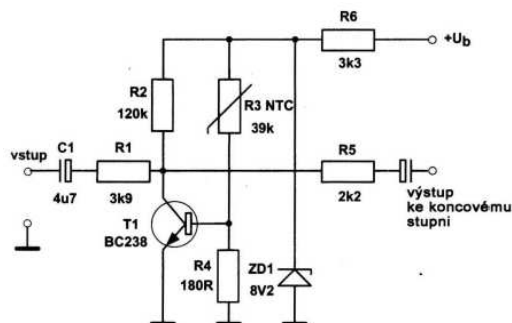
Funkce Clip detektor umožňuje varování pomocí první LED diody, že výkon jdoucí do zátěže se blíží maximu. Kdy druhá LED dioda indikuje již překročení této hranice. V tu chvíli se signál začíná ořezávat a jeho tvar se blíží obdélníkovému a tom případě by mohlo dojít ke zničení výškového nebo středového reproduktoru. [11]

4.3.3. Obvody pro tepelnou ochranu zesilovače

Obvody tohoto typu slouží k zamezení přehřátí výkonových prvků nebo koncových tranzistorů. Kdy při dosažení kritické teploty těchto prvků dojde k omezení výstupního výkonu nebo k celkovému odpojení koncového stupně, popřípadě k

celkovému vypnutí zdroje zesilovače. Tím můžeme zamezit zničení koncových výkonových tranzistorů, které jsou srdcem celého zesilovacího stupně a také jednou z nejdražších součástí u zesilovače.

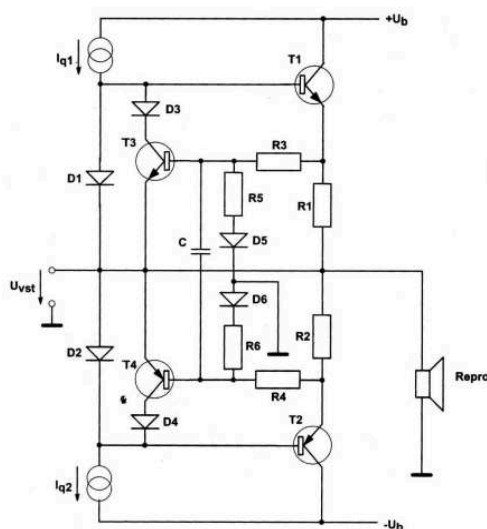
Na obrázku níže vidíme jednoduché zapojení tohoto typu ochrany, která je zajištěna termistorem NTC. Ten snímá teplotu na chladiči koncových tranzistorů. Kdy při zvýšení teploty sníží termistor svůj odpor a tím dojde k otevření tranzistoru T_1 , který začne tlumit procházející nízkofrekvenční signál. Rezistor R_2 zajišťuje na tranzistoru T_2 takové napětí, kdy záporné půl vlny nedokáží otevřít přechod kolektor-báze. Rezistor R_6 ve spolupráci s diodou D_1 stabilizují napětí napájecího obvodu. Jeli napětí k dispozici tyto dvě součástky odpadnou. Schéma lze snadno použít i k řízení ventilátorů. [11]



Obr.4.3.3 Schéma zapojení tepelné ochrany zesilovače [11]

4.3.4. Obvody elektronického proudového omezení

Jelikož mají nízkofrekvenční výkonové zesilovače malý zatěžovací odpor může snadno dojít k jejich zničení. Proto je vhodné použít obvod s touto ochranou. Nejlepším typem této ochrany je proudové omezení závislé na amplitudě budícího napětí. Jestliže dojde na výstupu ke zkratu při plném vybuzení vyjde nám hodnota cca 5 krát větší než za normálních podmínek tudíž by došlo ke zničení výkonových tranzistorů, které nejsou na tyto hodnoty konstruovány. Proto je dobré typ této ochrany využít. V praxi se počítá proudové omezení pouze na zatěžovací impedanci například 8Ω . Proto nelze pak k zesilovači připojit zátěž o nižší impedanci. [11]



Obr.4.3.4 Schéma zapojení pro amplitudově závislé proudové omezení koncového stupně[11]

4.4. Parametry NF audio zesilovačů

Všechny parametry nízkofrekvenčních zesilovačů lze v praxi ověřit měřením. Je to náročný postup jak na znalosti tak na vybavení potřebné k tomuto měření. Zde si uvedeme základní parametry které lze u zesilovačů ověřit měřením.

4.4.1. Přenosové pásmo – frekvenční charakteristika

Celá frekvenční charakteristika se vztahuje k referenčnímu kmitočtu 1000Hz. Při měření frekvenční charakteristiky se hlasitost zesilovače pomocí korekcí nastaví na maximum. Hloubky a výšky se nastavím korekcemi na minimum. Výstup se zatíží jmenovitou zátěží zesilovače a k jednotlivým vstupům se připojí náhradní impedance. Po změření by se frekvenční charakteristika zesilovače měla pohybovat v rozmezí 40Hz až 16 kHz kdy výchylka by měla být maximálně $\pm 2\text{dB}$.

Frekvenční charakteristika nám tedy udává jak široké frekvenční pásmo je daný zesilovač schopen přenést aby nedocházelo k výraznému zkreslení od původního signálu.

4.4.2. Odchylka mezi stereofonními kanály

Norma DIN 45 500 udává poměrně vysokou toleranci. Jestliže zesilovač není opatřen regulátorem pak u vyvážení každého kanálu (balance) je povolena maximální odchylka mezi dvěma kanály 3dB. Naopak zda li zesilovač tento regulátor obsahuje a lze s ním měnit napětíovou úroveň alespoň o 8 dB pak norma udává odchylku až 6 dB.

Tuto odchylku lze snadno změřit voltmetrem, který je zapojen na výstup zesilovače. Pak regulátor balancí nastaví do jedné z krajních poloh a změří se napětí levého a pravého kanálu. Stanovená tolerance se měří pro kmitočtový rozsah 250 až 6300Hz. Měření by se mělo provádět také pro různou hlasitost zesilovače.

4.4.3. Harmonické zkreslení

Zkreslení nám vlastně udává velikost parazitní složky vyskytující se v čistém sinusovém signálu. Harmonické zkreslení je způsobeno nelinearitou aktivních součástek jako jsou diody tranzistory elektronky atd.. Harmonické máme sudé a liché, přičemž sudé nezpůsobují takové rušení jako liché. Nejvýraznější zkreslení je třetí harmonickou, které se projevuje již při malých hlasitostech. Většina tranzistorových zesilovačů má zkreslení do 0,05 %.

Harmonické zkreslení se měří pomocí kmitočtového analyzátoru, který zjišťuje úroveň jednotlivých harmonických na výstupu. Je tedy nutno správné zkreslení následně dopočítat. Jde o nejpřesnější měření.

Dále můžeme měřit pomocí hornopropustného měřiče zkreslení, který nám změří obsah všech vyšších harmonických v daném signálu. Toto měření není tak přesné, mohou se zde vyskytovat další cizí rušení.

4.4.4. Intermodulační zkreslení

Opět je způsobeno nelinearitou součástek. Můžeme si ho představit jako kombinaci dvou frekvencí které byly přivedeny na vstup zesilovače. Tedy přivedeme li na vstup signál f_1 a f_2 pak se nám na výstupu zobrazí opět tyto signály plus jejich kombinace f_1+f_2 , f_1-f_2 , $2f_1+f_1$, $2f_1+2f_2$ apod..

Měří se na základě dvou přivedených signálů na vstup. Kdy jeden má 250Hz a druhý 8000Hz. Menší signál má mít úroveň 4 větší a má být vybuzen na 80 % napětí

odpovídající jmenovitému výstupnímu výkonu. Pro změření je nepostradatelný kmitočtový analyzátor. Velikost modulačního zkreslení je stanovena maximálně na 2%.

4.4.5. Přeslech mezi kanály

Jestliže se u stereofonních zesilovačů dostává signál z jednoho kanálu do druhého mluvíme o tzv. přeslechu mezi kanály.

Měří se při vybuzení jednoho kanálu na jmenovitý výkon a na maximální hlasitost. Kdy to nové korekce nastavíme na vyrovnaný kmitočtový průběh. Vstupy a výstupy jsou zatíženy jmenovitými impedancemi. V tu chvíli měříme zbytkové napětí na výstupu vybuzeného kanálu. Poměr vybuzeného a nevybuzeného kanálu nám udává míru přeslechu zesilovače.

4.4.6. Přeslech mezi vstupy

Jde o pronikání signálu připojeného k určitému vstupu do vstupu, který je právě u zesilovače připojen.

Měření se provádí při zapojení náhradních impedancí ke všem vstupům, kdy výstupů jsou připojeny předepsané zatěžovací odpory. Po připojení tónového generátoru a hlasitosti nastavené na maximum nařídíme takové vstupní napětí, aby na výstup byl vybuzen na jmenovitou hodnotu. Potom přepínáme jednotlivé vstupy a měříme zbytkové napětí na výstupu.

4.4.7. Jmenovitý výstupní výkon

Jedná se o výkon, který zesilovač odevzdá na dané zatěžovací impedanci při vybuzení obou kanálů současně. Při buzení sinusovým signálem po dobu minimálně 10 minut. Někdy se můžeme setkat také s pojmem trvalý výkon. Musí být ale splněna podmínka zkreslení koncového zesilovače do 0,7 % a výkonových jde o mezní hodnotu 1 %.

$$P_{out} = \frac{U_{out}^2}{R_z} [W]$$

P_{out} = výstupní výkon [W]

U_{out} = výstupní napětí [V]

R_z = zatěžovací impedance [Ω]

4.4.8. Hudební výkon

Jedná se o výstupní výkon, který by byl dosažený při podmínkách jmenovitého výkonu a při stálém vybuzení obou kanálů zesilovače při chodu naprázdno. Z praktického a ekonomického hlediska to nelze zjistit. Tudíž je tento parametr pouze informativní.

4.4.9. Výkonová šířka pásma

Jako výkonovou šířku pásma si můžeme představit dolní a horní kmitočet u něhož se výkon zmenšil na polovinu. Musí být zachována podmínka zkreslení 0,7 nebo 1 % dle DIN 45 500.

Měří se stejně jako jmenovitý výstupní výkon.

4.4.10. Vnitřní impedance zesilovače

Jde o neměnný parametr zesilovače, který je závislý na jeho konstrukci, zpětné vazbě atd.. Impedance je přímoúměrná zeslabení připojených reproduktorů a má vliv na celkovou kvalitu reprodukce zvuku. Norma DIN 45 500 stanovuje její hodnotu na maximálně 1/3 impedance zatěžovací.

Měření probíhá při vybuzení nezatíženého zesilovače. Zesilovač musí být vybuzen do hodnoty blížící se jmenovitému výkonu. Po vybuzení připojíme zatěžovací odpor a změříme pokles výstupního napětí.

Impedanci pak vypočítáme jako:

$$Z_i = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot R_z [\Omega]$$

Z_i = vnitřní impedance [Ω]

U_1 = napětí na výstupu na prázdko [V]

U_2 = napětí na výstupu s připojeným zatěžovacím odporem [V]

R_z = zatěžovací odpor

Činitel útlumu:

$$d = \frac{R_z}{Z_i}$$

d = činitel útlumu [-]

R_z = zatěžovací odpor [Ω]

Z_i = vnitřní impedance [Ω]

V praxi jde o parametry, které se nekontrolují, protože nijak zásadně neovlivňují reprodukci zvuku a skoro všechny zesilovače tyto parametry splňují na výbornou.

4.5. Chlazení zesilovačů

Pasivní chlazení – jde o typ chlazení kdy není nijak nucena cirkulace vzduchu kolem výkonových tranzistorů. Pasivním chlazením může být hliníkový chladič na který jsou připevněny výkonové tranzistory. Výhodou je tichý chod celého zesilovače. Naopak nevýhodou někdy může být zbytečné přehřívání tranzistorů nebo v krajních případech u vysokých výkonů již nedostatečné chlazení.

Aktivní chlazení – jde o typ pasivního chlazení ke kterému jsou přidány například ventilátory, které aktivně chladí zahřívající se chladič výkonových tranzistorů. Nevýhodou může být hlučnost zesilovače. Výhodou je téměř vždy dokonalé chlazení výkonových tranzistorů.

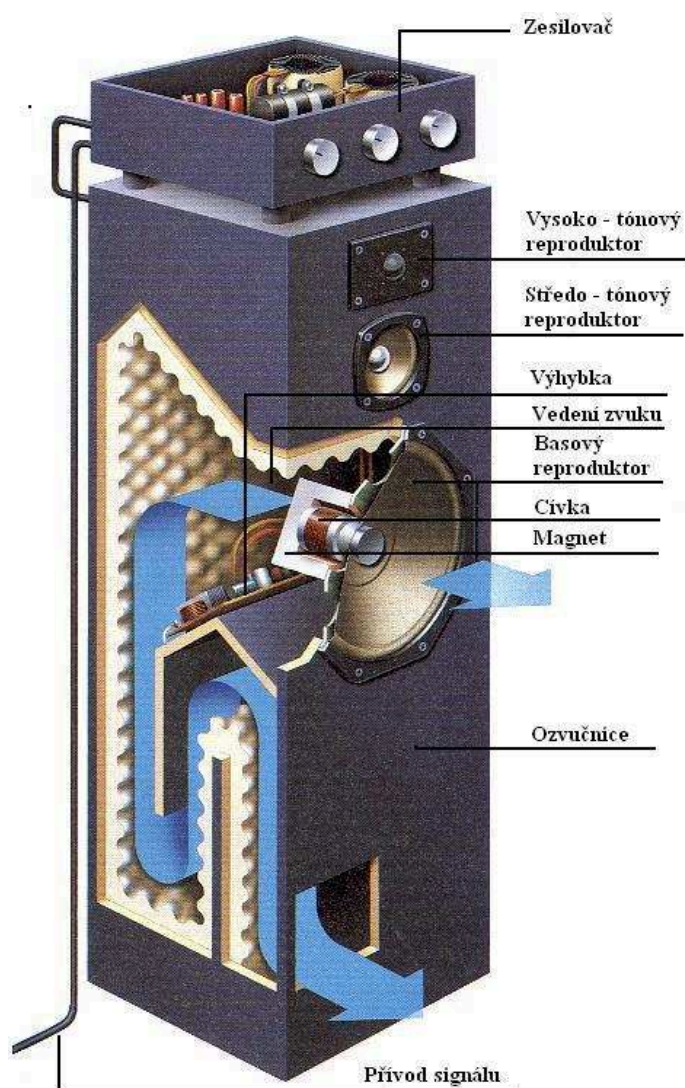
Odvod tepla – odvod tepla od výkonových tranzistorů můžeme zajistit tepelně vodivými pastami, které zlepšují tepelný přechod mezi chladičem a tranzistorem nebo například otevřeným žebrováním v místě chladiče atd.. V kombinaci s aktivním chlazením je zajištěno 100 % chlazení tranzistorů.

5. REPRODUKTOROVÉ SOUSTAVY

Pod pojmem reproduktorová soustava, reprosoustava nebo reprobedna se skrývá skupina reproduktorů a podpůrné obvody, která je umístěna v jedné bedně, skříní odborně nazývané ozvučnice (Popis a návrh ozvučnice uveden v následující kapitole číslo 6).

5.1. Komponenty reproduktorové soustavy

1. Ozvučnice – podrobný popis v kapitole 6
2. Basový reproduktor – slouží k reprodukci nízkých kmitočtů. Zpravidla 35 Hz až 800 nebo 1000Hz.
3. Středový reproduktor – slouží k reprodukci kmitočtů zpravidla 1000Hz až 6000Hz. V tomto pásmu je lidské ucho nejcitlivější.
4. Vysoko - tónový reproduktor – slouží k reprodukci kmitočtů zpravidla vyšších jak 6000Hz.
5. Frekvenční filtry (výhybky) – slouží k rozdělení signálů pro jednotlivé reproduktory.
6. Zesilovač – nemusí být součástí reproduktorové soustavy



Obr.5.1.1 Popis komponentů reproduktorové soustavy [12]

5.2. Dělení reproduktorových soustav

Reproduktorové soustavy mají širokou škálu použití. Většinou závisí na pohledu jedince jakým způsobem bude reproduktorovou soustavu používat, v jakých prostorách, jakou má představu designu a hlavně jakou vyžaduje kvalitu reprodukce zvuku. Podle těchto kritérií lze reproduktory rozdělit do více skupin.

Podle rozměrů ozvučnice

Sloupové – jde o reproduktorové soustavy ve tvaru sloupů. Jejich výška bývá zpravidla dvakrát až čtyřikrát větší než šířka.

Regálové - jde o reproduktorové soustavy ve tvaru regálu. Velikost jejich stran bývá zhruba ve stejném poměru.

Podle umístění zesilovacího členu

Pasivní - zesilovací člen není součástí reprosoustavy. K těmto typům se zesilovač připojuje externě.

Aktivní - zesilovací člen bývá přímo součástí reprosoustavy. Ve většině případů umístěn přímo uvnitř ozvučnice.

Podle počtu pásem

Pásmové - jde o reprosoustavy, které obsahují pouze jeden reproduktor, který zahraje pouze malou část frekvenčního pásma (subwoofer) nebo reproduktor který zahraje větší škálu frekvenčního pásma ale s omezení basů nebo výšek.

Dvou pásmové - jde o reprosoustavy, které obsahují dva reproduktory. Tyto reprosoustavy pokrývají téměř celé frekvenční pásmo. Zhruba od 50 do 20000Hz.

Tří pásmové - jde o reprosoustavy, které obsahují tři reproduktory. Kvalita reprodukce zpravidla nejlepší (na poslech), protože pokrývá celé frekvenční pásmo, které je lidské ucho schopno zpracovat. Výhodou je basový reproduktor který zahraje nejnižší frekvence okolo 20 až 35 Hz.

Více pásmové - Jde o reprosoustavy, které obsahují více než tři reproduktory. Výhodou je větší kvalita reprodukce u vysokých frekvencí, avšak obecná kvalita zvuku již není nijak zvlášť ovlivněna.



Obr.5.2.1 Pasivní tří pásmová reproduktorová soustava Dali Concept 10 [14]

Hifi reprosoustavy

Jde o speciální reprosoustavy. Většinou obsahují více druhů reproduktorů. Jejich hlavní výhodou je tzv. reprodukce prostorového zvuku (rozmístění více reproduktorů po celé místnosti). Bývají používány v kombinaci s více kanálovými zesilovači.

Subwoofery

Jde o speciální reprosoustavy, které jsou určeny k reprodukci zvuku hlavně v těch nejnižších kmitočtech. Jednoduše řečeno jde o soustavy které mají reprodukovat hlavně “basy”.



Obr.5.2.2 Aktivní Subwoofer Monitor Audio Gold GXW15 [13]

Sluchátka

Zvláštním typem reproduktorů jsou sluchátka. Jedná se o reproduktory miniaturních velikostí. Umísťují se na hlavu nebo přímo do uší posluchače.

5.3. Parametry reproduktorových soustav

Jde o informační parametry o reproduktorové soustavě. Výrobci jimi jakýmsi způsobem prezentují svůj výrobek, aby si kupující byl schopen představit jak asi bude reprosoustava hrát a co od ní může očekávat a k jakým účelům je může použít.

Svorkovnice

Svorkovnice, někde opomíjený parametr reprosoustavy. Udává nám jakým způsobem se daná reprosoustava dá připojit k zesilovači nebo jinému budicímu systému. Zde je uvedena možnost připojení reprosoustavy, kterou udává fa DEXON.

Bi-wiring = reprosoustavu připojíme na jeden zesilovač, jedním párem vodičů „tečou“ výšky, druhým basy.

Bi-amplig= reprosoustavu připojíme na dva zesilovače, jedním párem vodičů „tečou“ výšky z „výškového“ zesilovače, druhým „tečou“ basy z „basového“ zesilovače. [15]

Výkon reprosoustavy

Jde o parametr, který napadne jako první každého kdo se zmíní o reprosoustavě. Posuzuje se v hodnotách RMS. Jde o hodnotu která musí být posuzována a udávána podle standardu IEC 268–5. Dimenzování by mělo být takové, že výkon reproduktorové soustavy by měl být minimálně takový jako výkon zesilovače aby nedošlo k jejímu zničení. Z praxe můžeme, ale říci, že soustava nepojede na plný výkon. Proto si můžeme dovolit reprosoustavu nadimenzovat na trochu menší výkon než je výkon zesilovače. [15]

Impedance

Jde o parametr závislý na parametru připojovaného zesilovače. Je to hodnota, která udává jakou nám reproduktorová soustava udává zátěž pro daný zesilovač. Velikost impedance by měla být vyšší nebo minimálně stejná než je impedance zesilovače. [15]

Frekvenční rozsah

Jde o hodnotu, která nám udává interval frekvenčního pásma jaký je reproduktorová soustava schopna zahrát. Musíme brát, ale ohled na toleranční pásmo 6 nebo 10 dB. [15]

Citlivost

Tento parametr nám udává míru hlasitosti reprosoustavy vztaženou na jednotku výkonu přivedeného ze zesilovače. Laicky řečeno jde o hlasitost a účinnost. Každé 3 dB rozdílu znamenají dvojnásobek výkonu. [15]

Zkreslení

THD zkreslení - jde o míru zdeformovanosti reproduktorového signálu (sinusovky)

IMD zkreslení – jde o míru výskytu vzniku parazitních signálů (vznik více sinusovek z původního počtu) [15]

Dělicí frekvence

Tento parametr udává rozmezí frekvenčních pásem, které je každý reproduktor schopen zahrát. Jde o parametr udávaný reproduktorovou výhybkou. [15]

Rozměry a hmotnost

Dalo by se říci, že tyto parametry jsou nám jasné. Rozměry by se tedy měly uvádět včetně všech výstupků, různých nepravidelností ve tvarech atd..

Hmotnost zase poukazuje na to jak pevnou konstrukci má ozvučnice a třeba i dané reproduktory. Čím je hmotnost větší tím je to pro manipulaci horší. Naopak větší hmotnost je příznivější pro stabilitu celé reprosoustavy. Při vysokém vybuzení nedochází například ke chvění ozvučnice apod.. [15]

6. OZVUČNICE

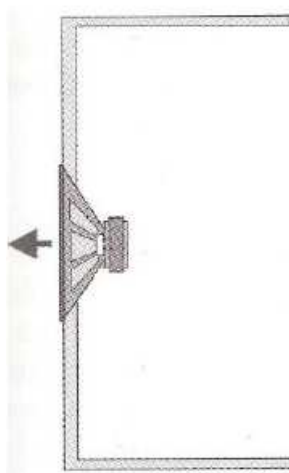
6.1. Co je to ozvučnice

Jde o reproduktorovou skříň, ve které jsou umístěny a mechanicky připevněny jednotlivé reproduktory. Jejím hlavním účelem je oddělit přední a zadní zvukovou vlnu reproduktoru, aby nedocházelo k tzv. akustickému zkratu (jev, kdy se přední a zadní vlna při určitých kmitočtech vyruší). Ozvučnice podporuje reprodukci zvuku na nižších kmitočtech, tudíž veškeré výpočty potřebné k její konstrukci souvisejí s basový reproduktorem. Její další funkcí je ochranná funkce basového reproduktoru.

6.2. Dělení ozvučnic

6.2.1. Ozvučnice otevřená

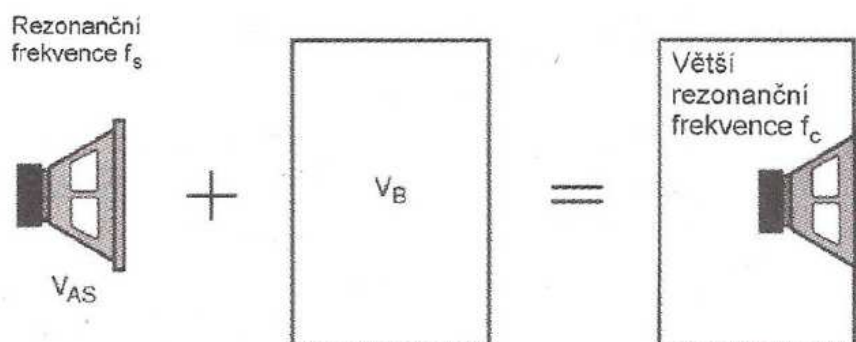
Jde o ozvučnici, kdy zadní stěna je otevřená. U tohoto typu je akustický zkrat omezen jen částečně. To je dáno hloubkou skříně. Obvykle se používá poměr stran 2x až 4x větší výška než hloubka skříně. Tento typ ozvučnice je nejpoužívanější u kytarových komb.



Obr. 6.2.1 Otvřená ozvučnice [1]

6.2.2. Ozvučnice uzavřená

Jde o nejčastěji používanou ozvučnici. Celý objem ozvučnice je hermeticky uzavřen. Jak již bylo řečeno ozvučnice slouží k oddělení přední a zadní vlny. Zadní vlna v tomto případě zůstává uzavřena uvnitř ozvučnice a přeměňuje se na teplo. To má za následek snížení účinnosti. Naopak u tohoto typu nám uzavřený objem dovolí plně využít basy reproduktoru, zvýší nám rezonanční frekvenci. Také slouží jako ochrana reproduktoru před utržením, protože uvnitř ozvučnice dochází k podtlaku. Dolní strmost frekvenční charakteristiky je 12dB/oct., tedy tato ozvučnice se chová jako horní propust 2.řádu. Nejčastěji se tento typ používá u kvalitních HiFi soustav.



Obr.6.2.2 Analogie reproduktoru v uzavřené ozvučnici [1]

6.2.3. Ozvučnice Bassreflex

Tento typ ozvučnice je velice podobný ozvučnici uzavřené. Jde zde rozdíl mezi vlastnostmi a vyzařováním energie. Energie není zkratována uvnitř ozvučnice ale pomocí bassreflexového nátrubku je vyzářena rovnou ven z ozvučnice a tím je zesílen akustický tlak. Na první pohled ji poznáme tak, že má na některé ze stěn díru.

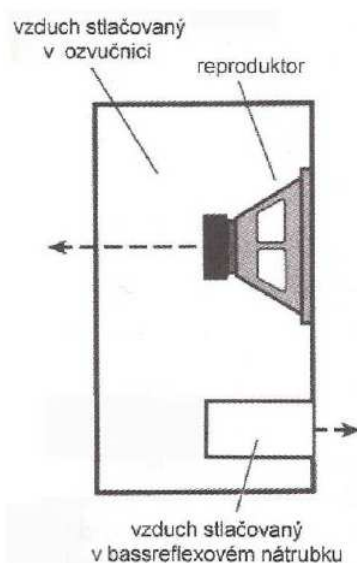
Činitel EBP:

Jde o informativní hodnotu, která nám udává zda se reproduktor hodí spíše do uzavřené ozvučnice nebo do ozvučnice typu Bassreflex. Mezní hodnota je zde 50.

$EBP < 50$ uzavřená ozvučnice

$EBP > 50$ bassreflex

$$EBP = \frac{f_s}{Q_{es}} [Hz]$$



Obr.6.2.3 Reproduktor v bassreflexové ozvučnici [1]

6.3. Konstrukce ozvučnic

6.3.1. Obecné zásady

Reproduktorová skříň by neměla zvuk nijak vyzařovat. Můžeme říci, že basovému reproduktoru pomáhá k plnění jeho funkce, kdežto středo tónovému a vysoko tónovému naopak škodí, protože povrch skříní se začne chovat jako odrazová plocha a na jejich hranách začne docházet k difrakci zvukové vlny. Těsnost reproduktorové skříně není zajištěna pouze tuhými spoji. Tyto spoje bývá nutné dosti často těsnit lepidlem nebo silikonovými materiály. Reprodukory je nutné při ukotvení do ozvučnice těsnit těsněním nebo podlívát a zamazávat silikonovými materiály. Rozměry ozvučnic volíme tak aby splňovaly požadovaný objem. Rozměry by se měly volit podle daných poměrů, aby se zabránilo vzniku vlastních kmitočtů ozvučnice. Pro konstrukci reproduktorových skříní je nejvhodnější používat materiály, které jsou nejtěžší, nejtěžší a mají největší tlumení. [2]

6.3.2. Materiály pro konstrukci ozvučnic

M.D.F – Medium density fibre board

Tento materiál je těžký a hustý. Snadno se obrábí a má velké vnitřní tlumení. Nejčastěji se používá pro domácí Hifi. Pro velké přenosné skříně už je nevhodný díky jeho velké hmotnosti. Jeho hmotnost je ale zase přínosem pro stabilitu při větších úrovních hlasitosti. [2]

D.T.D. – Dřevovláknitá deska

Při konstrukci reproduktorových skříní jde o nejpoužívanější materiál. Je středně těžký a méně houževnatější materiál než M.D.F.. Použití je vhodné všude tam kde se používá M.D.F.. Při použití tohoto materiálu se musí brát ohled na prostředí ve kterém bude skříň umístěna. Deska by se neměla používat do vlhkých prostor. Je zde riziko drobení a rozpadu materiálu. Nejčastější rozměry tloušťky desky jsou 18, 20 nebo 25 mm. [2]

Překližka z břízy

Jde o středně těžký materiál. Je dostatečně tuhý a silný. Má horší tlumení než M.D.F.. Používá se v profesionálních reproduktorových soustavách a je vhodný pro použití ve venkovních prostorech. [2]

Překližka z topolu

Lehký a silný materiál je levnější než překližka z břízy. Nevýhodou je, že překližky mívají uvnitř prázdná místa, která mohou zapříčinit různé rezonance apod.. Používá se hlavně kvůli jeho ceně.

Vicejádro – multi core

Jedná se o nový materiál, použitelný téměř v každém případě. Používá se nejvíce jako náhrada za překližku z topolu. Nemá defektní místa. A vruty pro konstrukci skříní v tomto materiálu lépe drží.

Lamináty

Jde o materiál kdy jsou k sobě slepeny dvě až tři vrstvy rozdílného typu dřeva. Nevýhodou jsou chybné spoje lepení, kdy vznikají nevyplněná místa a v důsledku toho může docházet k rezonancím nebo zvonivým zvukům. Proto je lépe tento materiál používat pro domácí Hifi.

Injektovaná celulóza

Materiál do kterého je strojově injektováno tvrdilo, které se uvnitř desky roztahuje. Mají dobrou tuhost, lepší než dřevotřísková deska. Řezání materiálu by se mělo provádět diamantovými kotouči.

6.3.3. Spojování stěn

Na tupo

Kolmé spojení hran sten skříně. Vniká nevzhledná spára, skříň je nutno odýhovat. Spoj má menší pevnost, proto je nutné vyztužit ze vnitř hranolkama. [1]

Na pokos

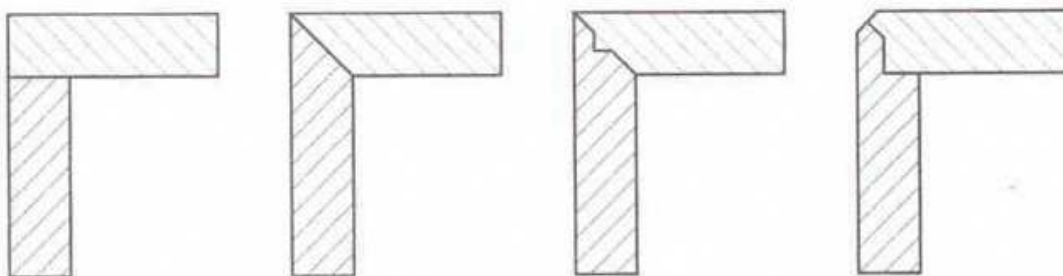
Spojení stěn při zkosení 45° . Vznikne vzhlednější spoj, který je také nutno vyztužit hranolkama. Pro domácí konstrukci je toto spojení obtížnější na výrobu. [1]

Na pokos se zámkem

Jde o nejlepší a nejpevnější spojení stran skříně. Nevýhodou je složitá výroba a nároky na přesnost. [1]

Na zámek s následným zkosením

Tento spoj napomáhá snížit difrakční vyzařování. Na výrobu je relativně jednoduchý. Jde o pevný a dostatečně tuhý spoj. [1]



Obr. 6.3.3 spojování stěn na tupo, pokos, pokos se zámkem a zámek se zkosením [1]

6.3.4. Vyztužování skříně

Z konstrukčního hlediska jde říci, že vyztužování skříně není potřeba. Pokud jsou rohy skříně řádně slepeny a sešroubovány není třeba používat nějakých výztuh. Platí, že s větší plochou stěn skříně klesá i jejich tuhost. V tomto případě je vyztužování dosti za potřebí. Velkou plochou se šíří zvuková vlna a stěny se pak začínají chovat jako zvukový vlnovod o určité frekvenci. Který reprodukováný zvuk mírně zabarví. Tento problém se dá odstranit tzv. žebrováním stěny nebo speciálními výztuhami. Jestli je výztuh za potřebí, neměly by pokrývat více než 25 % průřezu reprosoustavy, aby nedocházelo k omezení nebo zabránění proudění vzduchu ve skříni.

6.3.5. Tlumení stojatých vln

Jde o snížení nebo eliminaci vzniku stojatého vlnění. Neplatí tvrzení, že čím větší tloušťka materiálu tím lepší. Musíme si uvědomit, že každý materiál má určitou hustotu a tím také objem. Proto může docházet při volbě příliš tlustého tlumícího materiálu k rapidnímu snižování objemu skříně. Nejčastěji používáme tyto způsoby tlumení.

Tlumení na stěny

Jde o nejběžnější případ tlumení stojatých vln. Tlumící materiál se hlavně umísťuje na boční spodní vrchní a zadní stranu. Na přední straně obvykle nebývá dostatek místa kvůli uchycení reproduktorů. Orientační hodnotou pro tloušťku tlumícího materiálu je 1/10 výšky sloupové skříně.

Tlumení na výztuhu

Je ho za potřebí jestliže skříň má v polovině největšího rozměru výztuhu. V tomto místě vzniká největší amplituda stojatého vlnění. Výztuha se omotá dvěma až třemi vrstvami tlumícího materiálu.

Metoda zig – zag

Jde o nejúčinnější metodu tlumení, kdy tlumící materiál klademe zleva doprava a pak zase zpátky. V tomto případě se používá méně tlustý materiál. Kolem basového reproduktoru a bassreflexového nátrubku musíme dávat pozor a materiál klást velmi řídkce. [1]



Obr.6.3.5 Tlumení na stěny, na výztuhu a zig – zag [1]

7. FREKVENČNÍ FILTRY – VÝHYBKY

Reproduktorová výhybka je speciální elektrický obvod, který má za úkol rozdělit signál z audio zesilovače na jednotlivé frekvenční pásma, tak aby každý reproduktor zpracovával jen určité frekvenční pásmo, které je schopen sám zahrát. Sloučení těchto frekvenčních pásem je zajištěno samotnými reproduktory po přeměně elektrického signálu na akustický.

7.1. Dělení reproduktorových výhybek

Pasivní výhybky - výhybky u kterých se používají ke konstrukci pasivní součástky R, L a C. Nepotřebují ke své funkci samostatný zdroj napájení.

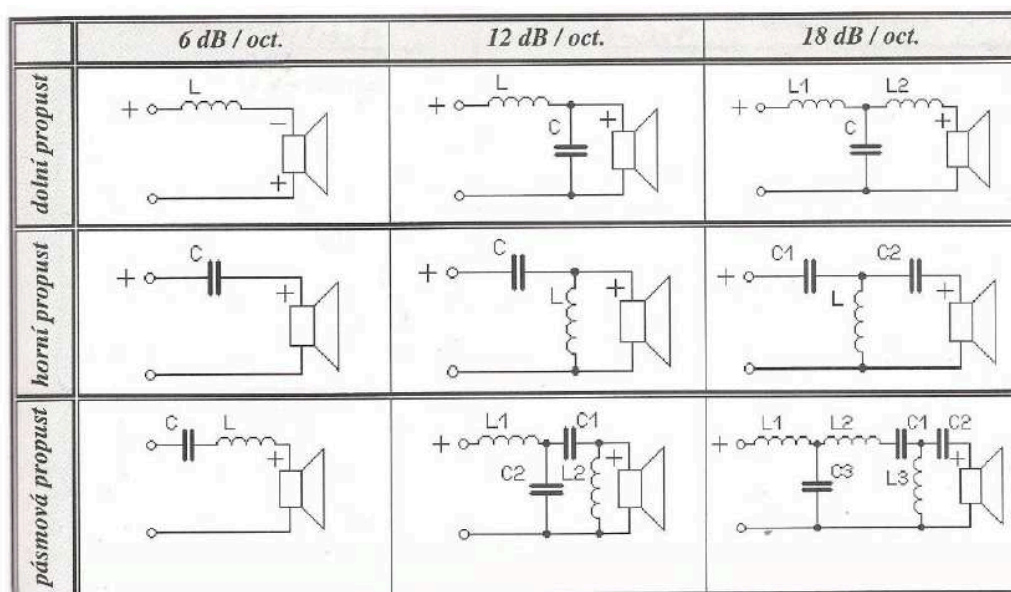
Aktivní výhybky - K součástkám R, L a C se přidává operační zesilovač. Výhybky potřebují ke své funkci samostatný zdroj napájení. Používají se hlavně u výkonových repro soustav.

Výkonové výhybky – zapojují se do výkonové části zesilovače. Nejčastěji za výstupní signál zesilovače.

Nevýkonové výhybky – tento typ výhybky se zapojuje ještě před samostatný zesilovač. Tudíž rozdělený signál je následně zesilován.

7.2. Dělení filtrů reproduktorových výhybek

1. Dolní propust – low pass – propouští frekvenční pásmo jen do určitého kmitočtu. Použití pro basový reproduktor
2. Pásmová propust – band pass – propouští frekvenční pásmo od kmitočtu X do kmitočtu Y. Použití pro středotonový reproduktor
3. Horní propust – high pass – propouští frekvenční pásmo od určitého kmitočtu. Použití pro vysokotonové reproduktory.



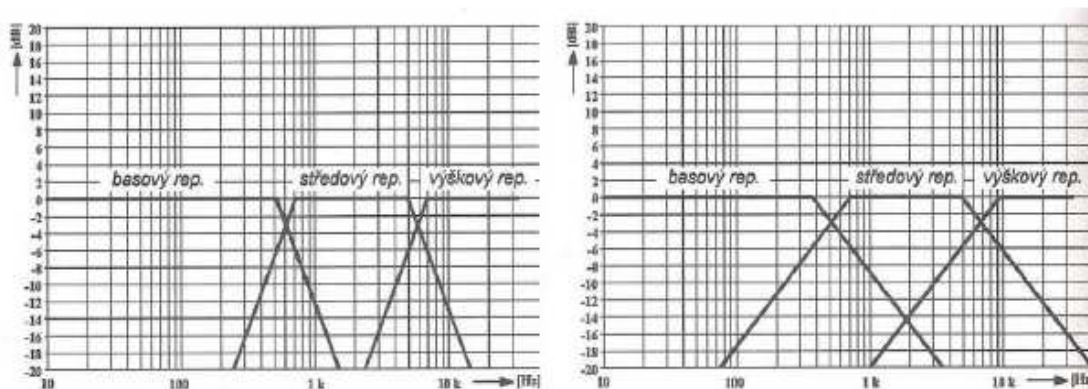
Obr.7.2 Zapojení reproduktorových výhybek s ohledem na strmost jednotlivých filtrů [1]

7.3. Stanovení dělicích kmitočtů

V první fázi si musíme určit kolik pásem bude výhybka mít. Dělicí kmitočty stanovuje pro správnou funkci celé soustavy. Musíme brát na zřetel hlavně parametry použitých reproduktorů. Pomocí správné volby dělicích kmitočtů můžeme potlačit některé špatné vlastnosti reproduktorů, naopak při špatné volbě je zase nedobrovolně zvýrazníme. Musíme se zaměřit hlavně na frekvenční závislost charakteristické citlivosti, tak aby nedocházelo k velkým rozdílům citlivosti na mezních kmitočtech reproduktoru. Volba musí být stanovena tak aby bylo pokryto celé frekvenční pásmo.

7.4. Volba strmosti jednotlivých filtrů

Důležitým aspektem pro volbu strmosti jsou frekvenční závislosti reproduktorů. Často se používají výhybky se strmostí 12dB/oct. Pro větší strmosti platí více součástek na spoji výhybky ale zároveň větší tolerance hodnot součástek. U vysoko tónových reproduktorů se volí minimálně výhybka se strmostí 12dB/oct nebo 18dB/oct. Výhodou je účinnější potlačení složek signálu pod dělicím kmitočtem, menší zatížení reproduktoru a menší zkreslení. Jako kompromis se často volí výhybky se strmostmi 12/12/18 dB/oct.



Obr.7.4 Strmost 12 a 6 dB/oct u tří pásmové výhybky [1]

7.5. Zatížitelnost výhybky

Při návrhu výhybky musíme brát velký ohled na jak vysoký příkon bude výhybka nadimenzována. To nám hlavně udává příkon basového reproduktoru. Jestli výhybku nadimenzujeme na malý příkon, může dojít k přesycení jádra cívky a ta se následně začne zahřívat. Po zvýšení procházejícího proudu dochází ke spálení cívky. U kondensátoru dochází vlivem přetížení k průrazu dielektrika a ke zničení podstatné části výhybky. Rezistory na výhybce mají největší trvanlivost. Většinou se jen zahřívají a vydrží nejdéle. Ale může dojít k tomu, že zahřejí okolní kondensátory a ty se následně spálí.

7.6. Připojování reproduktorů k výhybce

Z hlediska konstrukce výhybky a reproduktorů se zdá být zřejmý způsob připojení reproduktorů k výhybce. Nemusí to však být pravidlem. Někdy je nutné reproduktory na výhybce přepólovat. Níže je uvedena orientační tabulka jak by se reproduktory měly na výhybkách polovat.

Polarita reproduktoru	Tří pásmová výhybka		
	6 dB/oct.	12 dB/oct.	18 dB/oct
Basový reproduktor	zkusit	normální	normální
Středotónový reproduktor	normální	inverzní	inverzní
Vysokotónový reproduktor	normální	normální	normální
Dvou pásmová výhybka			
Středotónový reproduktor	zkusit	normální	normální
Vysokotónový reproduktor	normální	inverzní	inverzní

Tab.7.6 Polování reproduktorů na výhybce [1]

PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce jsou popsány návrhy a postupy, které vedly k dokončení celé typové audiosoustavy.

- Výběr reproduktorů pro danou reproduktorovou soustavu
- Výpočet parametrů ozvučnice metodou aproximace Maximally Flat
- Postup při konstruování ozvučnice

- Návrh frekvenčních filtrů
- Výpočet hodnot součástek
- Postup při výrobě frekvenčních filtrů

- Požadavky na NF zesilovač
- Výběr jednotlivých modulů (podpůrných obvodů)
- Sestavení a oživení modulů
- Postup při konstrukci NF zesilovače

- Měření provedené na audiosoustavě

- Finanční náklady na stavbu audiosoustavy

8. NÁVRH A REALIZACE REPRODUKTOROVÉ PÁSMOVÉ SOUSTAVY

V této kapitole bude ukázán postup návrhu celé reproduktorové soustavy. Výpočet a návrh ozvučnice, návrh výhybek pro reproduktory atd..

8.1. Výběr reproduktorů pro soustavu

Výběr reproduktorů je velice důležitý krok při stavbě reproduktorů a určitě by se neměl přehlížet. Na začátku bychom si měli položit otázku kde budeme soustavu používat a jakou kvalitu reprodukce zvuku vlastně budeme chtít. V tomto případě bude soustava používána pro ozvučování malých rodinných slavností ale také pro klasické domácí použití.

8.1.1. Basový reproduktor Beyma 8WOOFER/P – V2

Basový reproduktor byl zvolen nejen na základě parametrů udávaných výrobcem, ale také po konzultaci s odborníky na diskusním fóru na webu zaměřeném pro návrhy reproduktorových soustav. Po dlouhém váhání byl zvolen kompromis v porovnání cena/výkon. Dále byl volen kvůli jeho rozměrům aby celá soustava reproduktorů nebyla příliš velká.

Parametry basového reproduktoru Beyma

Nominální průměr		8
Jmenovitá impedance	Z	8Ω
Příkon		50 W
Rezonanční frekvence	fs	35 Hz
Frekvenční rozsah		30 - 6500 Hz
Charakteristická citlivost		90 dB
Mechanický činitel jakosti	Qms	2,72
Elektrický činitel jakosti	Qes	0,62
Celkový činitel jakosti	Qts	0,5
Ekvivalentní objem	Vas	59 l
Maximální lineární výchylka	Xmax	4,5 mm

Tab.8.1.1 Základní parametry basového reproduktoru [19]



Obr. 8.1.1 Beyma 8WOOFER/P – V2 [20]

Poznámka:

Výkres rozměrů basového reproduktoru viz příloha č.1

Impedanční křivka reproduktoru viz příloha č.2

Podrobné informace k reproduktoru Beyma 8WOOFER/P- V2 viz přiložené CD soubor “Reproduktory – technické parametry/Beyma 8WOOFER P-V2.pdf “

8.1.2. Středobasový reproduktor Beyma 5MP60N

Při výběru středo tónového reproduktoru byla brána v potaz citlivost basového reproduktoru. Dále byl kladen důraz na frekvenční pásmo reproduktoru v rozmezí 1kHz až 6kHz. Těmto požadavkům vyhovoval reproduktor 5MP60N.

Parametry středo tónového reproduktoru

Nominální průměr		5
Jmenovitá impedance	Z	8Ω
Příkon		50 W
Rezonanční frekvence	f_s	60 Hz
Frekvenční rozsah		50 - 12000 Hz
Charakteristická citlivost		91 dB
Mechanický činitel jakosti	Q_{ms}	1,604
Elektrický činitel jakosti	Q_{es}	0,35
Celkový činitel jakosti	Q_{ts}	0,29
Ekvivalentní objem	V_{as}	9,8 l
Maximální lineární výchylka	X_{max}	4 mm

Tab.8.1.2 Základní parametry středo tónového reproduktoru [19]



Obr. 8.1.2 Beyma 5MP60N [21]

Poznámka:

Výkres rozměrů středobasového reproduktoru a impedanční křivka viz příloha č. 3 a 4

Podrobné informace k reproduktoru Beyma 5MP60N viz příložené CD soubor “Reproduktory – technické parametry/Beyma 5MP60N.pdf “

8.1.3. Vysokotónový reproduktor Beyma CP16

Volba výškového reproduktoru záleží na volbě obou předchozích. Reprodukter byl volen tak, aby se jeho citlivost pohybovala okolo 100 dB a jeho frekvenční rozsah byl od 12 khz výše. Proto byl vybrán Beyma CP16.

Parametry Vysokotónového reproduktoru

Jmenovitá impedance	8
Příkon (RMS)	15W
Frekvenční rozsah	3-20 khz
Charakteristická citlivost	105 dB
Hmotnost	0,76 Kg

Tab.8.1.3 Základní parametry vysokotónového reproduktoru [19]



Obr.8.1.3 Beyma CP16 [22]

Poznámka:

Výkres rozměrů vysokotónového reproduktoru a impedanční křivka viz příloha č. 5 a 6

Podrobné informace k reproduktoru Beyma CP16 viz přiložené CD soubor “Reproduktory – technické parametry/Beyma CP16.pdf “

8.2. Výpočet parametrů ozvučnice

Jak už bylo řečeno ozvučnice napomáhá basovému reproduktoru k plnění jeho funkce. Proto se veškeré výpočty ozvučnice provádí pro basový reproduktor, V našem případě jde o reproduktor Beyma 8WOOFER/P – V2.

Podle činitele EBP byla zvolena ozvučnice typu

$$EBP = \frac{f_s}{Q_{es}} [Hz] \quad EBP = \frac{35}{0,62} = 56,45 Hz$$

Hodnota činitele EBP je $56,45 > 50$, z toho vyplývá použití ozvučnice typu Bassreflex.

Pro výpočet parametru byla použita metoda aproximace ladění typu Maximally Flat.

Parametry reproduktoru pro použití metody aproximace Maximally Flat

$$f_s = 35 \text{ Hz} \quad Q_{ts} = 0,5 \quad V_{as} = 59 \text{ l}$$

1. Objem ozvučnice pro danou aproximaci je dán jako

$$V_b = 15,33 \cdot V_{as} \cdot Q_{ts}^{2,86} = 15,33 \cdot 59 \cdot 0,5^{2,86} = 124,58 \text{ l}$$

2. Určení dolního mezního kmitočtu

$$f_3 = \frac{0,26 \cdot f_s}{Q_{ts}^{1,4}} = \frac{0,26 \cdot 35}{0,5^{1,4}} = 24,02 \text{ Hz}$$

3. Určení rezonančního kmitočtu

$$f_b = \frac{0,42 \cdot f_s}{Q_{ts}^{0,9}} = \frac{0,42 \cdot 35}{0,5^{0,9}} = 27,43 \text{ Hz}$$

4. Zvolení průměru bassreflexového nátrubku

Pro reproduktory velikosti 165 až 200 mm se volí průměr zhruba 75mm

V našem případě volíme průměr 76mm

5. Určení délky nátrubku pro výše spočítané ladění

$$l = \frac{2361 \cdot d^2}{f_b^2 \cdot V_b} - 0,732 \cdot d = \frac{2361 \cdot 0,076^2}{27,43^2 \cdot 0,12458} - 0,732 \cdot 0,076 = 0,090173437 \text{ m} = 9,02 \text{ cm}$$

6. Snížení objemu skříně na 39 l. Nový dolní mezní kmitočet skříně o objemu 39l bude

$$f_3' = f_s \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_b'}} = 35 \cdot \sqrt{\frac{59}{39}} = 43,05 \text{ Hz}$$

7. A nový rezonanční kmitočet bude

$$f_b' = f_s \cdot \left(\frac{V_{as}}{V_b'} \right)^{0,32} = 35 \cdot \left(\frac{59}{39} \right)^{0,32} = 39,96 \text{ Hz}$$

8. Pro nové kmitočty je třeba přeladit nátrubek

$$l' = \frac{2361 \cdot d^2}{f_b'^2 \cdot V_b'} - 0,732 \cdot d = \frac{2361 \cdot 0,076^2}{39,96^2 \cdot 0,039} - 0,732 \cdot 0,076 = 0,16334959 \text{ m} = 16,33 \text{ cm}$$

Z důvodu vysoké délky nátrubku volíme nátrubek menší a přepočítáme znovu délku nátrubku o jiném průměru. Volíme nátrubek o průměru 66mm, který je uváděn v e-shopu fy Dexon.

$$l' = \frac{2361 \cdot d^2}{f_b'^2 \cdot V_b} - 0,732 \cdot d = \frac{2361 \cdot 0,066^2}{39,96^2 \cdot 0,039} - 0,732 \cdot 0,066 = 0,116834088m = 11,68cm$$

9. Vyčíslení výšky hrbu na charakteristice v decibelech

$$SPL_{peak} = 20 \log \left[2,6 \cdot Q_{ts} \cdot \left(\frac{V_{as}}{V_b'} \right)^{0,35} \right] = 20 \log \left[2,6 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{59}{39} \right)^{0,35} \right] = 3,54dB$$

8.3. Výroba reproduktorové soustavy

Výroba reproduktorové soustavy započala návrhem rozměrů jednotlivých stěn ozvučnice tak aby její vnitřní objem odpovídal výpočtům uvedených v kapitole výše. Po návrhu těchto rozměrů byl zvolen materiál typu MDF ze kterého byla celá ozvučnice vyrobena. Stěny byly slepeny a staženy nábytkářskými šrouby (nábytkářské šrouby tzv. konfirmáty). Takto bylo postupováno u všech stěn ozvučnice, přičemž byly prvně sestaveny čelo a boční strany následně horní a spodní díl ozvučnice. Potom byla přišroubována deska oddělující komoru reproduktorů od komory pro reproduktorové výhybky. Následně byly přichyceny v zadní části ozvučnice hranoly sloužící k uchycení zadního víka ozvučnice. V takto sestaveném korpusu ozvučnice byly zakytovány všechny díry po šroubech a nerovnosti mezi jednotlivými spoji. Následovalo kompletní obroušení ozvučnice tak aby byl přebytečný kyt odstraněn. Po očištění a odmaštění ozvučnice následovalo kompletní nalakování bezbarvým lakem.

V průběhu toho bylo navrženo čelo reprosoustavy. Návrh byl kompletně nakreslen v AutoCad 2005. Podle takto nakresleného návrhu byla zadána zakázkově výroba dvou čel z leštěného nerezového firmě Retigo s.r.o. se sídlem v Rožnově pod Radhoštěm, Láň 2310.

V dalším kroku byly vyřezány díry pro reproduktory, bassreflexový nátrubek a díry pro madla. Následovalo oblepení karbonovou folií. Dále bylo nasazeno a uchyceno čelo reproduktoru a samotné reproduktory. U takto připravené ozvučnice byly sanitárním silikonem zamazány všechny spoje uvnitř, kterými by mohl unikat vzduch. Po usazení byly všechny matice uvnitř ozvučnice zasilikonovány, aby se předešlo jakémukoliv nežádoucímu úniku vzduchu z ozvučnice. K uchycení zadního víka byly z vnitřní strany hranolků ukotveny speciální matice. Aby bylo zamezeno vzniku stojatého vlnění byly stěny komory pro reproduktory oblepeny tlumícím materiálem (vatelín), taktéž bylo oblepeno i zadní víko. Hranoly pro uchycení zadního víka byly oblepeny miralonem, aby při nasazení a přišroubování zadního víka bylo dosaženo dokonalého utěsnění ozvučnice. Na závěr byla do spodní komory reprosoustavy připevněna výhybka na distančních sloupcích. Byly připojeny všechny konektory dle tabulky Tab.7.6. Takto bylo postupováno i u konstrukce druhé reproduktorové skříně.



Obr.8.3 Vyrobená reproduktorová soustava

Poznámka:

Výkresy s rozměry reproduktorové soustavy viz příloha číslo 7 a 8.

Výkres s rozměry nerezového čela reproduktoru viz. příloha číslo 9.

Foto dokumentace výroby reproduktorové soustavy viz příloha číslo 32.

8.4. Návrh výhybky

Celý návrh vyplývá z námi zvolených dělících kmitočtů pro celou výhybku. Strmosti filtrů byly stanoveny na: 12/12/18 dB/oct.

Zvolené dělící kmitočty:

Dolní propust	f_{dd}	1000Hz
Pásmová propust	f_{dd}	1000Hz
	f_{dh}	6000Hz
Horní propust	f_{dh}	6000Hz

Tab.8.4 Dělicí kmitočty

Dolní propust – pro basový reproduktor. Strmost 12dB/oct.

Výpočet hodnot součástek:

$$L_1 = \frac{Z_b}{\pi \cdot f_{dd}} = \frac{8}{\pi \cdot 1000} = 2,55mH$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi \cdot f_{dd} \cdot Z_h} = \frac{1}{4\pi \cdot 1000 \cdot 8} = 9,95\mu F$$

Za Z_b dosadíme hodnotu impedance basového reproduktoru. Za f_{dd} dosadíme dělící kmitočet basového reproduktoru.

Pásmová propust – pro středo-tónový reproduktor. Strmost 12dB/oct.

Výpočet pomocný kmitočtů:

$$f_3 = f_{dd} \cdot \sqrt{\frac{f_{dh}}{f_{dh} - f_{dd}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{6000}{6000 - 1000}} = 1095,5Hz$$

$$f_4 = f_3 \cdot \frac{f_{dh} - f_{dd}}{f_{dd}} = 1095,5 \cdot \frac{6000 - 1000}{1000} = 5477,5Hz$$

Za f_{dh} dosadíme dělící kmitočet vysoko tónového reproduktoru a za f_{dd} dosadíme dělící kmitočet basového reproduktoru.

Výpočet hodnot součástek

$$L_2 = \frac{Z_s}{\pi \cdot f_4} = \frac{8}{\pi \cdot 5477,5} = 466\mu H$$

$$L_3 = \frac{Z_s}{\pi \cdot f_3} = \frac{8}{\pi \cdot 1095,5} = 2,32mH$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi \cdot f_4 \cdot Z_s} = \frac{1}{4\pi \cdot 5477,5 \cdot 8} = 1,82\mu F$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi \cdot f_3 \cdot Z_s} = \frac{1}{4\pi \cdot 1095,5 \cdot 8} = 9,1\mu F$$

Za Z_s dosadíme hodnotu impedance středo-tónového reproduktoru a za f_4 a f_3 dosadíme pomocné kmitočty.

Horní propust - pro vysoko-tónový reproduktor. Citlivost 18dB/oct.

Výpočet hodnot součástek:

$$C_4 = \frac{1}{3\pi \cdot f_{dh} \cdot Z_v} = \frac{1}{3\pi \cdot 6000 \cdot 8} = 2,21\mu F$$

$$C_5 = 3C_4 = 6,63\mu F$$

$$L_4 = \frac{3 \cdot Z_v}{8\pi \cdot f_{dh}} = \frac{24}{8\pi \cdot 6000} = 159\mu H$$

Za f_{dh} dosadíme dělicí kmitočet vysoko-tónového reproduktoru a za Z_v dosadíme impedanci vysoko-tónového reproduktoru.

Kompensace impedančního průběhu měnice – pro basový reproduktor

Kompensace indukčnosti kmitačky - výpočet hodnot součástek:

$$R_1 = 1,25 \cdot R_e = 1,25 \cdot 5,8 = 7,25\Omega$$

$$C_{11} = \frac{L_e}{R_1^2} = \frac{0,9 \cdot 10^{-3}}{7,25^2} = \frac{0,0009}{52,5625} = 17,1\mu F$$

Za R_e dosadíme odpor cívky basového reproduktoru udávaný výrobcem a za L_e dosadíme indukčnost cívky basového reproduktoru udávané výrobcem.

Kompensace rezonance – pro vysoko-tónový reproduktor

Kompensace na kmitočtu 5000Hz – výpočet hodnot součástek:

$$R_2 = R_e + 0,5 = 7,3 + 0,8 = 7,8\Omega$$

$$C_6 = \frac{0,03003}{f_s} = \frac{0,03003}{5000} = 6\mu F$$

$$C_1 = \frac{0,02252}{f_s^2 \cdot C_6} = \frac{0,02252}{5000^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,02252}{150} = 150\mu H$$

Za R_e dosadíme odpor cívky vysoko-tónového reproduktoru udávaného výrobcem a za f_s dosadíme kompenzační kmitočet.

Vyrovnnání citlivosti - pro vysoko-tónový reproduktor. $A = 3,5$ dB

Výpočet hodnot součástek:

$$R_4 = 10^{\frac{A}{20}} \cdot \frac{R_e}{1 - 10^{\frac{A}{20}}} = 10^{\frac{3,5}{20}} \cdot \frac{7,3}{1 - 10^{\frac{3,5}{20}}} = 1,496235656 \cdot \frac{7,3}{(-0,496235656)} = 22,01\Omega$$

$$R_3 = R_e - \frac{1}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_e}} = 7,3 - \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{7,3}} = 7,3 - 5,481230035 = 1,82\Omega$$

Za A dosadíme zvolený útlum a za R_e dosadíme odpor cívky vysoko-tónového reproduktoru udávaného výrobcem.

Skutečný útlum

$$A = 20 \log \cdot \frac{\frac{R_4 \cdot R_e}{R_4 + R_e}}{\frac{R_3 + \frac{R_4 \cdot R_e}{R_4 + R_e}}{1,82 + \frac{22 \cdot 7,3}{22 + 7,3}}} = \frac{22 \cdot 7,3}{22 + 7,3} = 20 \log \cdot 0,750726886 = 2,49dB$$

8.5. Výroba výhybky

Výroba výhybky vycházela ze schématu zapojení viz příloha č.7. Schéma zapojení bylo nakresleno v programu Eagle 5.6.0 Professional Edition. Po nakreslení bylo schéma převedeno do funkce Board, kde byl u jednotlivých součástek specifikován jejich rozměr a typ pouzdra. Pak byly součástky rozmístěny tak aby výhybka v závěru nebyla příliš velká. Následně byla navržená DPS převedena na formát PDF (bez zobrazení pouzder součástek). Tento návrh byl vytisknut na laserové tiskárně na foto papír.

Tento vytištěný návrh byl přiložen a připevněn lepicí páskou na předem očištěný rozměrově připravený kuprextit (vytištěným obrazcem na měděnou plochu kuprextitu). U takto připravené desky byl žehličkou cca 5 až 7 minut nažehlován přiložený obrazec. Po nažehlení byla deska vložena do teplé vody a opatrně sundán foto papír (tak aby vytištěný obrazec zůstal na desce). Po sundání papíru byla deska vysušena a drobné nedostatky v nažehlení byly opraveny fixem na kreslení obrazců.

Takto připravená deska byla vložena do leptacího roztoku (chlorid železitý). Po vyleptání desky cca 15 až 25 minut (v závislosti na teplotě leptacího roztoku) byla deska omyta ve vodě a zkontrolována zda je vše správně vyleptáno.

Do takto připravené desky byly podle návrhu vyvrtány díry pro uchycení desky a díry pro jednotlivé součástky. Místa kolem děr na součástky byly pocínovány pomocí trafo páječky z důvodů snadnějšího pájení součástek.

V tuto chvíli byla deska kompletně připravena na osazení součástkami. Prvně byly osazovány konektory pro připojení následovaly kondenzátory pak keramické odpory a patice na ochrannou žárovku. Než došlo k osazení cívek musely být u některých odmotány závity aby se dosáhlo její správné hodnoty podle celého návrhu (nákup cívek z normovaných řad – důvod odmotání závitů). Po této úpravě byly i cívky osazeny na DPS. Cívky byly osazeny na DPS na stojato z důvodu úspory místa na DPS. Pro lepší stabilitu byly cívky přes středovou díru uchyceny k DPS pomocí stahovacích plastových pásků. V tuto chvíli byla výhybka hotová a připravená k montáži do ozvučnice.



Obr.8.5 Vyrobená reproduktorová výhybka

Poznámka:

Schéma zapojení reproduktorové výhybky viz příloha č. 10

Rozpiska součástek pro reproduktorovou výhybku viz příloha č. 10

Návrh desky plošného spoje se zobrazením pouzder v programu Eagle viz příloha číslo 11.

Návrh desky plošného spoje bez pouzder (použit pro nažehlení) v programu Eagle viz příloha číslo 12.

9. NÁVRH A REALIZACE NF ZESILOVAČE

Požadavky

Hlavní rolí při návrhu zesilovače bylo zpracování stereofonního signálu a jeho celkový výkon od kterého se dále odvíjel návrh reproduktorové soustavy, která se k zesilovači připojuje. Mezi další požadavky patřilo ovládání hloubek, výšek a samozřejmě balancí jednotlivých reproduktorů na zesilovači. Pro praktičtější využití mezi další požadavky patřila možnost připojit více vstupů na jednu, které by bylo možno podle potřeby jednoduše elektronicky přepnout přepínačem.

Technické požadavky

K hlavním požadavkům patřilo napájení zesilovače ze sítě 230V/50Hz, jeho celkový výstupní výkon, frekvenční charakteristika a zatěžovací impedance. Výkon se měl pohybovat v rozmezí 90 až 150W. Na základě těchto požadavků byl zvolen koncový stupeň o výkonu 2x125W s frekvenční charakteristikou 10Hz až 100KHz a minimální zatěžovací impedancí 4Ω. K dalším požadavkům patřila možnost připojení více zařízení k zesilovači, které by se daly jednoduše mezi sebou přepínat. Také záleželo na tom, aby každý ze vstupů měl určitou citlivost podle toho jaké zařízení se na něj připojí. Předpokládalo se připojování televizoru, DVD přehrávače a hlavně počítače. Podmínka úpravy basů, výšek a hlasitosti zesilovače byla nedílnou součástí, záleželo na citlivosti upravení hlasitosti, basů a výšek. Dále se k požadavkům připojila možnost ochrany reproduktorů proti přetížení a jejich zničení. Při takovémto výkonu zesilovače bylo jeho chlazení nedílnou součástí. Aby se předešlo stálému chlazení pomocí ventilátorů nebo příliš velkému pasivnímu chladiči byla potřeba zvolit kombinace těchto dvou možností. Tedy menší pasivní chladič v kombinaci s ventilátory ovládanými teplotou chladiče. Dále bylo nutné zajistit napájecí napětí pro jednotlivé moduly. To bylo zajištěno zdrojem symetrické napájení s maximálním výstupním napětím $\pm 45V$ a proudem 8A. Podle parametrů zdroje bylo nutné na jeho vstup připojit síťový transformátor, který upravuje síťové napájecí napětí na napětí 2 x 30V. V důsledku toho byly předpokládány proudové nárazy do sítě při zapnutí celého zesilovače. Proto mezi další požadavky patřilo odstranění těchto nárazů. Pro splnění těchto požadavků byly použity pro sestavení zesilovače níže uvedené komerční moduly.

Síťový transformátor

Zdroj je připojen na síťový transformátor TST200/018(přes modul celkových ochran), který upravuje síťové napětí na napětí 2x30V.

Parametry transformátoru:

$S = 200VA$	$f = 50Hz$
$U_{pri} = 230V$	
$U_{sec} = 2x30V$	$2x3,33A$

Vnější popis

Z hlediska designu a efektivity byl pro zhotovení celkové skříně zesilovače zvolen leštěný nerez v kombinaci s černou karbonovou folií. V nerezovém panelu jsou laserem vypáleny popisky označující funkčnost jednotlivých ovládacích prvků. Na čelní straně zesilovače jsou umístěny dvě řady led diod, které rozsvěcováním indikují celkové vybuzení koncového stupně. Dále je na čelním panelu také umístěna sada pěti led diod, které indikují přepnutí vstupu zesilovače. Pro snadný přístup k elektronickým součástem zesilovače je horní víko odnímatelné a zajištěno čtyřmi jednoduchými šrouby.

Skříň zesilovače

Vyrobená zakázkově na základě výkresů nakreslených v AutoCad 2005. Výroba skříně byla zadána firmě Retigo s.r.o. se sídlem v Rožnově pod Radhoštěm, Láň 2310, 75661.

Ochrana proti úrazu elektrickým proudem

Ochrana proti úrazu elektrický proudem neživých částí je zajištěna automatickým odpojením od zdroje zemnicím vodičem připojeným na kostru zesilovače dle ČSN 332000-4-41

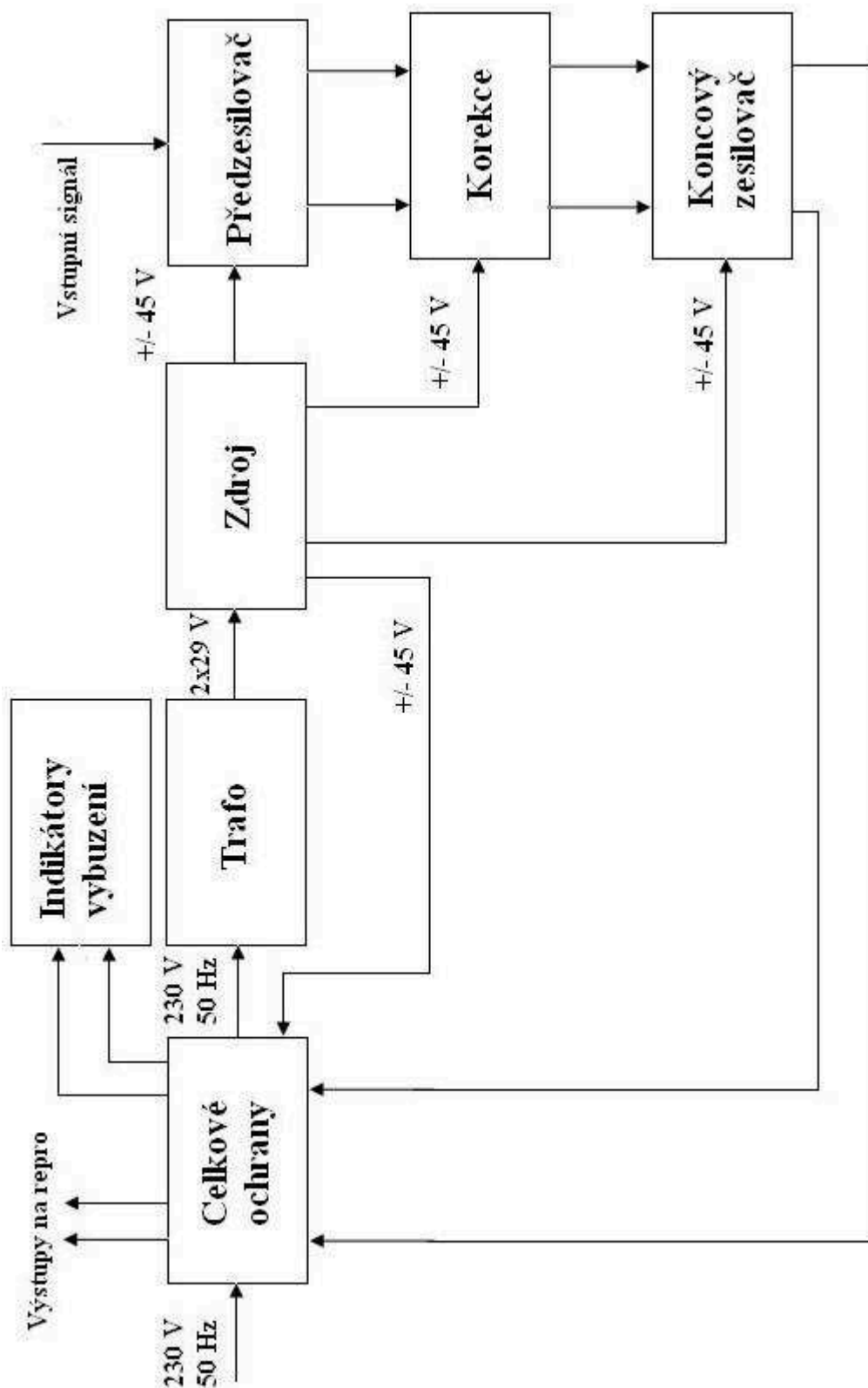
Zvolené moduly

Pro sestavení nízkofrekvenčního stereofonního zesilovače byly zvoleny komerční moduly firmy **EZK - Elektronika Ing. Zdeněk Krčmář se sídlem Rožnov pod Radhoštěm 75661, Tylovice 1880**. Byly použity moduly s označením SX = nesestavený modul. Po osazení jednotlivých modulů je bylo za potřebí oživit. Při oživování bylo postupováno dle doporučeného postupu každého modulu uvedeného v jeho dokumentaci.

Moduly:

1. Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí NZD8A45SX
2. Stereofonní předzesilovač PSP6541SX
3. NF korekční zesilovač RSD4132SX
4. NF koncový zesilovač KSD8251SX
5. Modul celkové ochrany XSJ2168SX
6. Indikátor úrovně výkonu BSJ3915SX

Blokové schéma NF zesilovače



Obr.9 Blokové schéma zapojení NF zesilovače

9.1. Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí NZD8A45

Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí obsahuje usměrňovací diody, které propouští pro každou větev zápornou a kladnou vlnu napětí. Vyhlažovací kondensátory pro vyhlazení signálu na výstup zdroje. Každá větev je jistěna samostatnou pojistkou. A led diody indikující správnou funkci každé větve zdroje.

Technické parametry

Maximální výstupní napětí:	$\pm 45\text{V}$
Maximální vstupní napětí (efektivní hodnota):	2 x 31V
Maximální výstupní proud:	8A
Kapacita vyhl. kondenzátorů:	2x 4m7
Maximální možná kapacita vyhl. kondenzátorů:	4x 4m7
Doporučený transformátor:	TOR2 2x29V
	TOR3 2x29V
	TOR4 2x29V
	TOR5 2x29V
Výška modulu:	48 mm
Rozteč otvorů pro uchycení:	60 x 90 mm
Rozměry ploš. spoje EZK301:	70 x 100 mm

Tab.9.1 Technické parametry napájecího zdroje [24]

Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí NZD8A45



Obr.9.1 Napájecí zdroj NZD8A45 [23]

Poznámka:

Popis vývodů zdroje, jeho schéma zapojení a rozmístění součástek na plošném spoji viz příloha č. 16

9.2. Stereofonní předzesilovač PSP6541

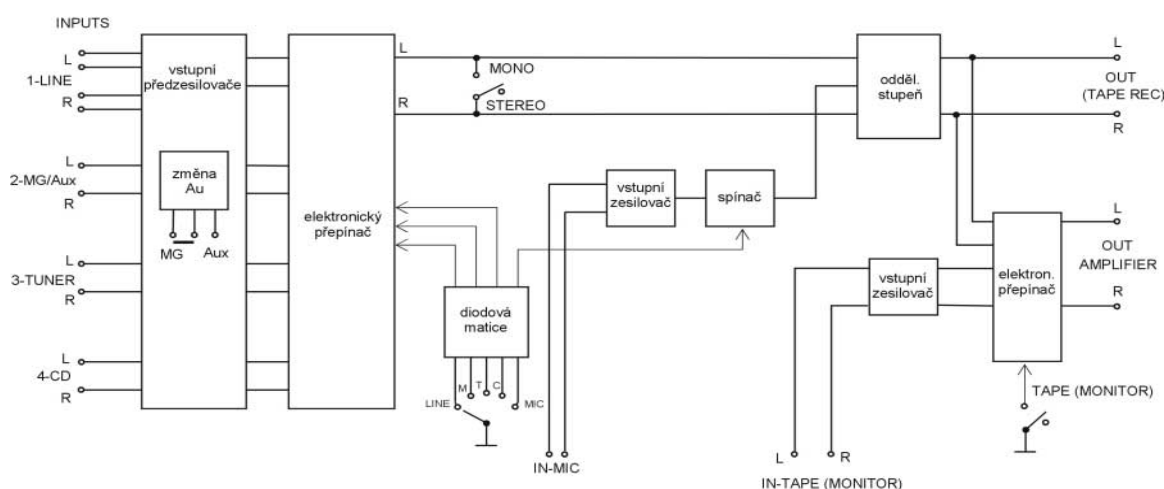
Stereofonní zesilovač má šest vstupů, přičemž vstupní signál je upraven u každého operačním zesilovačem. Jde o vstupy MG / AUX, TUNER, CD, TAPE MONITOR, LINE a MIC. Dále je opatřen výstupem AMPLIFIER a TAPE RECORDER. Pomocí jumperů J_3 a J_4 se volí vstup MG nebo AUX. Má i možnost monotónního provozu. Trimry R_6 a R_{16} nastavujeme citlivost vstupu LINE a pomocí trimru R_{72} nastavujeme citlivost vstupu MIC. Symetrické vstupy jsou realizovány pomocí JACK 6.3 ostatní pomocí CINCH. Elektronické přepínání vstupů je realizováno pomocí IO 4052. Indikace zvoleného vstupu je realizována pěti externími diodami připojenými na šesti polohový přepínač.

Technické parametry

Rozsah napájecího napětí U_Z :	± 15 až $45V$
Napájecí proud I_Z ($U_Z = \pm 30V$):	$\pm 45mA$
Vstupní citlivost ($f=1kHz$) / vstupní impedance	
vstup 1 - LINE (symetrický, stereo, 2x JACK, lineární):	70 -350 mV / $11k\Omega$
vstup 2 - MG (nesymetrický, stereo, CINCH, RIAA):	3mV / $47k\Omega$
- AUX (nesymetrický, stereo, CINCH, lineární):	200mV / $47k\Omega$
vstup 3 - TUNER (nesymetr., stereo, CINCH, lineární):	250mV / $20k\Omega$
vstup 4 - CD (nesymetrický, stereo, CINCH, lineární):	500mV / $20k\Omega$
vstup 5 - TAPE (nesymetr., stereo, CINCH, lineární):	300mV / $20k\Omega$
vstup 6 - MIC (symetrický, mono, JACK, lineární):	3 - 7 mV / $5k\Omega$
Jmenovité výstupní napětí U_O ($f=1kHz$):	300mV
Kmitočtová charakteristika (-2dB):	15Hz až 60kHz
Odstup signál / šum pro všechny vstupy kromě MIC:	86dB
pro vstup MIC:	60dB
Přeslech ($f=1kHz$) mezi vstupy TUNER a CD:	-86dB
mezi ostatními vstupy:	-60dB
Výška modulu:	32 mm
Rozteč otvorů pro uchycení:	182.5 x 52.5 mm
Rozměry plošného spoje EZK541:	190 x 60 mm

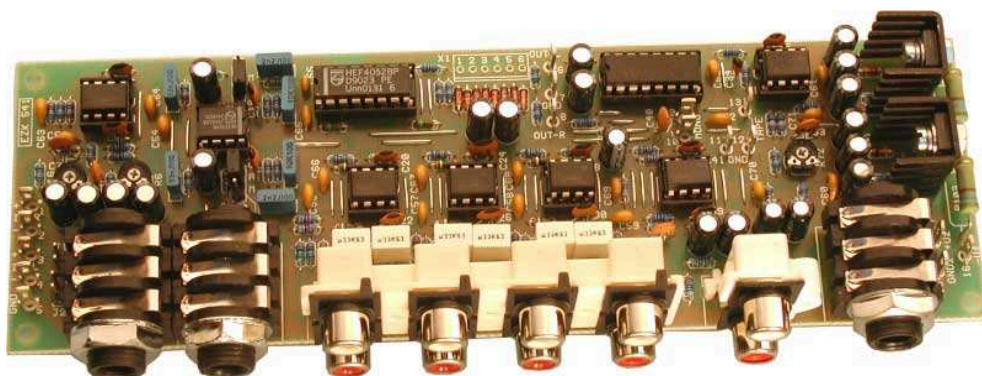
Tab.9.2 Technické parametry stereofonního předzesilovače [24]

Blokové schéma



Obr.9.2.1 Blokové schéma stereofonního předzesilovače [24]

Stereofonní předzesilovač PSP6541



*Obr.9.2.2 Stereofonní předzesilovač s elektronickým
přepínáním vstupů se symetrickým napájením
PSP6541[23]*

Poznámka:

Označení vývodů modulu, rozmístění součástek, schéma zapojení a rozpiska součástek viz příloha č. 17

9.3. NF korekční zesilovač RSD4132

Stereofonní korekční zesilovač s regulací hloubek, výšek, hlasitosti (fyziologické) a balance, symetrické napájení.

Korekční zesilovač je založen na klasickém Baxandallovém korektoru. Před ním je zapojen stupeň sloužící k úpravě zisku zesilovače. Potlačení hloubek se provádí potenciometrem P_1 a potlačení výšek se reguluje potenciometrem P_2 . Vyvážení praveného a levého kanálu se reguluje potenciometrem P_3 . Pro úpravu hlasitosti slouží potenciometr P_4 . Pro nastavení fyziologické hlasitosti se používají jumpery J_1 a J_2 . Trimry R_6 a R_{26} slouží pro nastavení citlivosti. Symetrické napájecí napětí je upraveno stabilizátorem zapojeným v korektoru.

Oživení korekčního zesilovače

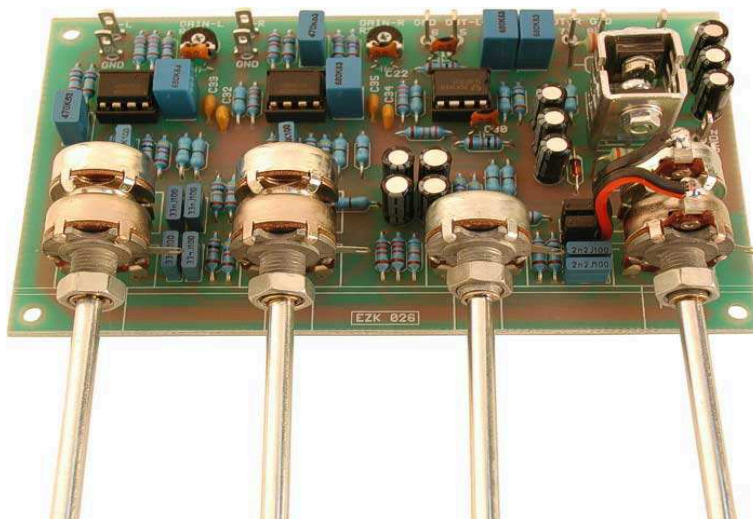
Zapájená deska bez IO byla připojena ke zdroji napájecího napětí $\pm 30V$. Dále bylo zkontrolováno připojení kladného pólu na svorku 9, záporného pólu na svorku 11 a GND na svorku 10. Po úspěšné kontrole byl zapnut zdroj napájecího napětí a na rezistorech R_{42} a R_{43} zkontrolovány úbytky napětí (cca 3mA), které nám udávají správný odběr proudu v obou větvích zdroje. Následně bylo změřeno napětí na patcích IO. Po úspěšné kontrole a při vypnutém napájecím zdroji byly osazeny IO do patcí podle znázorněných zámků. Následně byly zkontrolovány úbytky napětí na R_{42} a R_{43} (cca 5-8V). Po zkontrolování funkcí celého obvodu byla pomocí trimrů R_6 a R_{26} nastavena citlivost.

Technické parametry

Rozsah napájecího napětí U_Z :	$(\pm 10) \pm 25$ až $\pm 45V$
Napájecí proud I_Z ($U_Z = \pm 30V$):	35mA
Jmenovitá vstupní citlivost:	775mV
Napěťové zesílení:	1 až 3
Max. výstupní napětí U_O ($U_Z = \pm 30V$):	10V
Zdůraznění (potlačení) hloubek při $f=40Hz$:	$\pm 16dB$
výšek při $f=16kHz$:	$\pm 16dB$
Regulace hlasitosti:	-100 až +0dB
Kmitočtová charakteristika (-2dB):	20Hz až 200kHz
Zkreslení k ($U_O=100mV$, $f=1kHz$, zisk 0dB):	0.02%
Odstup signál/šum (zisk 0dB):	>90dB
Osová vzdálenost regulačních potenciometrů:	30 mm
Průměr os regulačních potenciometrů:	4 mm
Výška modulu:	cca 24 mm
Rozteč otvorů pro uchycení:	112.5 x 62.5 mm
Rozměry plošného spoje EZK026:	120 x 70 mm
Stupeň obtížnosti:	2

Tab.9.3 Parametry korekčního zesilovače [24]

Korekční předzesilovač RSD4132



Obr.9.3 NF korekční zesilovač RSD4132 [23]

Poznámka:

Popis vývodů modulu, schéma zapojení, rozmístění součástek a rozpiska součástek korekčního zesilovače viz příloha č. 18

9.4. NF koncový zesilovač KSD8251

NF výkonový stereofonní zesilovač 2 x 125W se symetrický napájením

Celé zapojení koncového stupně vychází z doporučeného zapojení pro IO TDA7250. Jde o stereofonní budič koncových tranzistorů TIP142 a TIP147. Obsahuje ochrany proti výkonovému přetížení a je opatřen automatickou regulací klidového proudu. Součástí je funkce MUTE a STAND-BY. Závěrečné zesílení je realizováno pomocí rezistorů R_{20} a R_{18} . Nastavení ochran a klidových proudů je zajištěno rezistory s hodnotou 0R10. Koncové tranzistory musí být izolovaně přišroubovány k dostatečně velkému chladiči.

Oživení koncového stupně

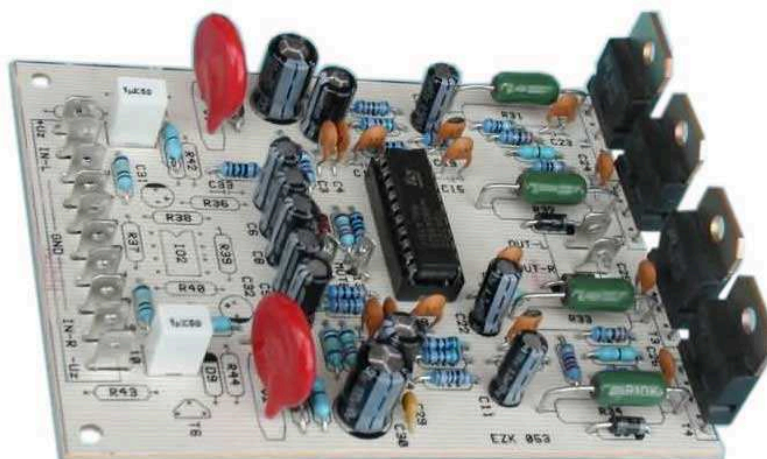
Osazená deska koncového stupně s vyjmutými IO byla připojena přes odpory 47R/6W ke zdroji symetrického napájení a zkontrolována správnost připojení jednotlivých pinů napájení. Dále byl zkontrolován nulový odběr. Při vypnutém zdroji byly osazeny IO do patič podle znázorněných zámků. Rezistory ve větších byly zapojeny a koncové tranzistory připojeny na dostatečné chlazení přes izolační podložky. Po zapnutí zdroje byly zkontrolovány proudové odběry (30-100 mA). Dále byly také zkontrolovány napájecí napětí za rezistory ($\pm 22 - \pm 27$ V). Po odpojení ochranných odporů bylo napájecí napětí zvýšeno maximálně na ± 45 V. Klidový odběr byl asi 150mA. Na závěr byla provedena kontrola všech funkcí koncového stupně.

Technické parametry

Rozsah napájecího napětí UZ:	+ 10 až + 45V (max.)
Osazení:	TDA7250, 2x TIP142, 2x TIP147
Výstupní výkon	
PO (RZ=4Ω, UZ= ±40V):	2 x 125W (min.)
PO (RZ=8Ω, UZ= ±40V):	2 x 80W (min.)
Proudový odběr IZ	
(PO=2 x 125W, UZ= ±40V):	5.4A (typ.)
Kmitočtová charakteristika (-3dB):	10Hz až 100kHz
Zkreslení	
(PO=40W, f=1kHz):	0.004% (typ.)
(PO=40W, f=20kHz):	0.03% (typ.)
Klidový odběr (UZ= ±30V) pro funkce:	
PLAY (svorka 13 nezapojena)	150mA (typ.)
MUTE (U13=1.6V až 2.3V)	120mA (typ.)
STAND-BY (U13=0V až 0.9V)	10mA (typ.)
Vstupní citlivost:	750mV (typ.)
Umlčení (MUTE):	cca 40dB
Minimální zatěžovací impedance:	4Ω
Vstupní impedance:	22kΩ
Tepelný odpor chladiče	
(PO=2 x 125W, ta=250C):	0.6K/W (max.)
Výška modulu:	28 mm
Rozteč otvorů pro uchycení:	67.5 mm
Rozměry plošného spoje EZK053:	75 x 100 mm
Stupeň obtížnosti:	5

Tab.9.4 Technické parametry koncového stupně [24]

NF koncový zesilovač KSD8251



Obr.9.4 NF koncový zesilovač KSD8251 [23]

Poznámka:

Popis vývodů modulu, schéma zapojení, rozmístění součástek a rozpiska součástek koncového zesilovače viz příloha č. 19.

9.5. Modul celkové ochrany XSJ2168

Modul má funkci ochrany reproduktorů před zničením při poruše koncových výkonových tranzistorů, tepelnou ochranu výkonových prvků, omezení proudového nárazu při zapnutí zesilovače a zpoždění připojení zátěže. Napájení je stejnosměrné 26 až 45V. Zpoždění připojení zátěže je realizováno relé R_{e1} a R_{e2} , které sepnou po připojení napájecího napětí cca za 4s. Reprodukory se tedy připojí až po odeznění všech přechodných dějů a jejich zapnutí je zcela tiché.

Tepelná ochrana pracuje v závislosti na teplotě čidla KTY, které je vhodným způsobem připevněno k pasivnímu chladiči koncových výkonových tranzistorů. Jedna polovina IC2 slouží pro ovládání napětí na ventilátorech. Při teplotě čidla cca 50 °C sepne a zvyšuje napětí na ventilátorech až do hodnoty 21V (do 70°C). Druhá polovina pracuje jako komparátor. Při teplotě čidla cca 80°C se komparátor překlápí a dojde k odpojení reproduktorů. Teplota sepnutí ventilátorů se upravuje trimrem R_{35} a teplota pro odpojení reproduktorů se ovládá trimrem R_{36} .

Sítový transformátor je zde připojen k modulu přes rezistor R_{30} . Cca po 2 sekundách se ustálí poměry zdroje a relé R_{e1} (ve spolupráci s IC1) zkratuje odpor R_{30} a transformátor je připojen přímo k síťovému napětí. Nedochozí tedy k proudovému nárazu při zapnutí zesilovače.

Oživení modulu celkové ochrany

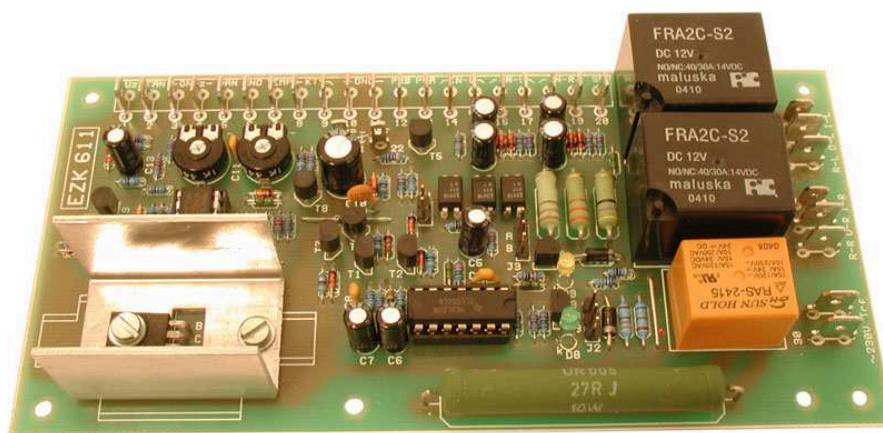
Osazená deska bez integrovaných obvodů byla připojena ke zdroji cca 30V přes ochranný rezistor 47R/2W. Vývod SR byl propojen se zemí a sepnut napájecí zdroj. Odběr modulu byl zjišťován na ochranném rezistoru. Poté bylo změřeno napájecí napětí pro IO a napětí na svorkách pro ventilátory. Při vypnutém zdroji byly osazeny IO do patiček. Opět byl změřen odběr modulu na rezistoru. Po kontrole bylo připojeno čidlo KTY a odstraněna svorka s vývodem SR. Po zapnutí zdroje se cca po 2 sekundách sepnulo relé transformátoru R_{e1} a po dalších cca 2 sekundách sepnuly ostatní dvě relé. Vše proběhlo v pořádku, po zahřátí čidla byly vyzkoušeny ostatní funkce modulu a nastaveny teploty při kterých se mají sepnout ventilátory popřípadě odpojit reproduktory.

Technické parametry

Rozsah napájecího napětí U_Z :	26 až 45V
Napájecí proud I_Z (bez ventilátorů):	150mA (max.)
Maximální zatěžovací proud relé I_0 :	10A
Vstupní citlivost pro odpojení reproduktorů U_I :	2V= (max.)
Doba odpojení reproduktorů (pro $U_I = 2V$):	0.5 s (typ.)
(pro $U_I = 5V$):	0.1 s (typ.)
Doba zpožděného připojení reproduktorů:	cca 4 s (typ.)
Doba zpožděného připojení transformátoru:	cca 2 s (typ.)
Odpor rezistoru při připojení transformátoru:	33R / 10W
Mezní vstupní napětí - vstupy IN-L a IN-R:	$\pm 60V$
Mezní vst. napětí - vstupy IN-L a IN-R ($f=20Hz$):	40Vef
($f>50Hz$):	60Vef
Mezní vstupní napětí vstupu IN ~:	60Vef
Teplota pro sepnutí ventilátorů:	60 ± 10^0C
Vypínací teplota:	80 ± 10^0C
Maximální proud výstupu FAN ($U_Z = 50V / 40V$):	150mA / 220mA
Výška modulu:	30 mm
Rozteč otvorů pro uchycení:	65 x 145 mm
Rozměry plošného spoje EZK611:	75 x 155 mm

Tab.9.5 Technické parametry modulu celkové ochrany [24]

Modul celkové ochrany XSJ2168



Obr.9.5 Modul ochrany reproduktorů tepelné ochrany zesilovače, omezení proudového nárazu při zapnutí, zpožděné připojení zátěže XSJ2168 [23]

Poznámka:

Popis vývodů modulu, schéma zapojení, rozmístění součástek a rozpiska součástek celkových ochran zesilovače viz příloha č. 20.

9.6. Indikátor úrovně výkonu BSJ3915

Celé zapojení indikátoru vychází z doporučeného zapojení pro IO LM3915. Napěťový dělič R_2 a R_3 definuje maximální indikované napětí. Diody jsou zapojeny do série, takže při vybuzení signálem se postupně rozsvěčují a zhasínají.

Oživení modulu

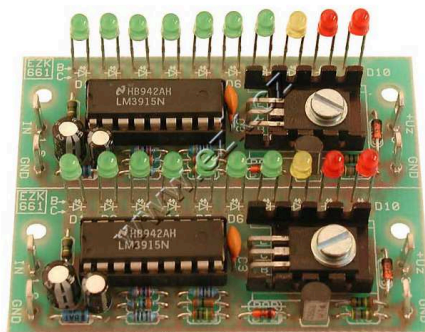
Osazená deska bez IO LM3915 byla připojena přes ochranný rezistor 100R ke zdroji napájecího napětí cca 30V. Po zapnutí zdroje bylo zkontrolováno napětí za rezistorem a napětí na patičkách pro IO. Po vypnutí zdroje byly vsazeny IO LM3915 a opět zkontrolováno napětí za rezistorem. Po odstranění ochranného rezistoru byl zkontrolován odebíraný proud, který nepřesahoval hodnotu 10mA. Nakonec bylo připojeno vhodné napětí na vstup indikátoru a byla provedena kontrola rozsvícení všech led diod.

Technické parametry

Rozsah napájecího napětí U_z	25 až 50V
Napájecí proud I_z ($U_z=30V$)	40mA
Výška modulu	20 až 25 mm
Rozteč otvorů pro uchycení	57.5x25 mm
Rozměry plošného spoje EZK661	65x50 mm

Tab.9.6 Technické parametry modulu indikace výkonu [24]

Indikátor úrovně výkonu BSJ3915



Obr.9.6 Indikátor úrovně výkonu BSJ3915 [23]

Poznámka:

Popis vývodů modulu, schéma zapojení, rozmístění součástek a rozpiska součástek indikátoru úrovně výkonu viz příloha č. 21..

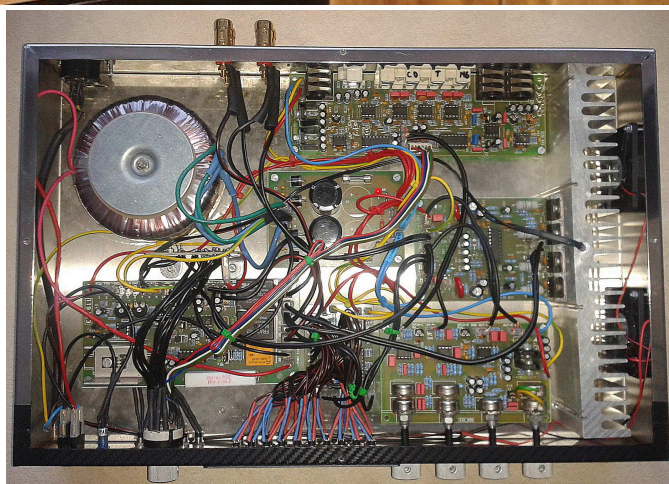
9.7. Výroba NF zesilovače

Výroba zesilovače započala osazením a postupným oživením jednotlivých modulů. Rozměry skříně byly nakresleny v programu AutoCad 2005. Do toho výkresu byly zakresleny otvory pro vstupy a výstupy zesilovače, otvory pro euro konektor, hlavní vypínač, přepínač vstupů, otvory pro led diody, otvory pro ovládací potenciometry atd.. K tomuto byl navržen a nakreslen čelní panel a víko zesilovače. Takto připravené výkresy byly předány firmě Retigo, která celou skřín zesilovače podle těchto výkresů vyrobila.

Po zhotovení skříně následovalo uchycení jednotlivých modulů. Pak byly připevněny ventilátory. Dále byl uchycen transformátor, jednotlivé ovládací prvky a konektor pro přívod síťového napětí.

Nyní byl zesilovač připraven na zhotovení a zapojení kompletní kabeláže. Podle blokového schématu byly nejprve připojeny všechny moduly na zemnicí vodič dále na vodič kladného napětí a naposledy na vodič záporného napětí. Po zapojení napájení jednotlivých modulů byla podle blokového schématu zapojena signálová cesta. Nakonec byl připojen transformátor a teplotní čidlo. Po jeho připojení byla odzkoušena správnost zapojení celé kabeláže zesilovače.

Nyní byla skřín oblepena karbonovou folií a nasazen čelní panel zesilovače. Ten byl sešroubován pomocí Držáků na led diody. Nyní byly všechny led diody vsazeny do svých držáků, nasazen přepínač vstupů a kontrolní žárovka upozorňující na zapnutí zesilovače. Následovalo nasazení knoflíků na ovládací prvky. Nakonec bylo připevněno víko zesilovače. Takto zhotovený zesilovač byl připojen na síťové napětí, k němu byly připojeny reproduktory a odzkoušena jeho funkce.



Obr.9.7 Vyrobený NF zesilovač

10. MĚŘENÍ A SIMULACE PROVEDENÉ NA AUDIOSOUSTAVĚ

Všechna měření na audiosoustavě byla prováděna mimo akustickou komoru. Tudíž výsledky mohou být zkreslené a nelze je použít k získání certifikací potřebných ke komerčním účelům.

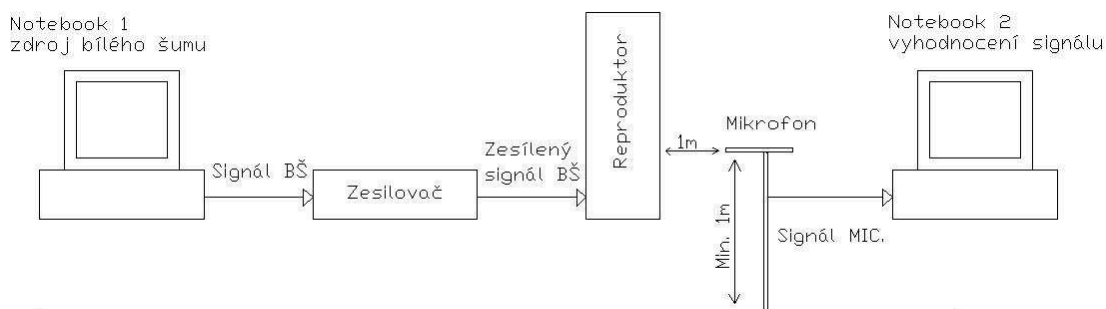
10.1. Frekvenční analýza reproduktorové soustavy

Frekvenční analýza slouží k získání vzhledu složeného signálu. Jde o metodu, která převede signál vzorkovaný v čase na informaci o přítomnosti vybraných frekvencí v signálu. Metoda je založena na Fourierově analýze.

Postup měření

Měřený reproduktor byl umístěn tak aby stál minimálně jeden metr nad zemí (udává norma kvůli odrazivosti zvuku od země). Ten byl připojen k notebooku přes zesilovač. Rovně před reproduktor byl umístěn směrový mikrofon ve vzdálenosti jeden metr od reproduktoru do výšky mezi basový a středový reproduktor. Mikrofon byl připojen k dalšímu notebooku, který zaznamenával snímáný signál. V prvním notebooku byl ve smyčce puštěn signál bílého šumu. Basy a výšky zesilovače byly nastaveny na nulový bod (bod kdy zesilovač přenese stejný signál jako byl do něj přiveden). Hlasitost reproduktorů byla pomocí hlukoměru nastavena na 90 dB. Při takto připravené soustavě byl snímán signál mikrofonom a vyhodnocen pomocí software SIA Smaart Live. Takto bylo měření provedeno u obou reproduktorů.

Schéma zapojení



Obr.10.1 Schéma zapojení měření frekvenční analýzy

Použité měřicí přístroje

Směrový mikrofon – Sennheiser MKH 8060

Hlukoměr - Greisinger GSH 8922

Software SIA Smaart Live

Poznámka:

Frekvenční analýzy 1. a 2. reproduktoru viz. příloha č. 25 a 26

Z výsledné analýzy můžeme vyčíst, že reproduktor 1 a reproduktor 2 výborně přenáší frekvence nad 100 Hz. Charakteristika v nižších frekvencích začíná prudce klesat a znázorňuje, že reproduktory v nižších frekvencích přestávají hrát. Tento jev v nižších frekvencích je pravděpodobně způsoben nepřesným nastavením nulového bodu u basů na korekcích zesilovače. Tím pádem nám charakteristika znázorňuje potlačení nižších frekvencí. Z celého frekvenčního pásma charakteristiky lze vidět, že výhybky pro reproduktory jsou nastaveny optimálně, protože nikde nedochází k výraznému přerušení charakteristiky.

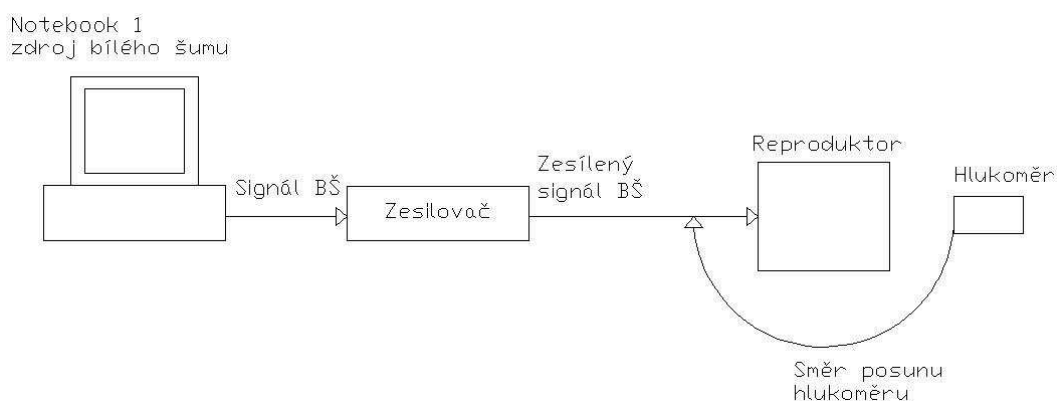
10.2. Směrová charakteristika reproduktorové soustavy

Udává nám závislost akustického tlaku vyzářeného reproduktorem, vzhledem k ose reproduktoru na úhlu postavení mikrofonu, neboli posluchače.

Postup měření

Měřený reproduktor byl umístěn tak aby stál minimálně jeden metr nad zemí (udává norma kvůli odrazivosti zvuku od země). Ten byl připojen k notebooku přes zesilovač. Rovněž před reproduktor byl umístěn hlukoměr ve vzdálenosti jeden metr od reproduktoru do výšky mezi basový a středový reproduktor. Pomocí notebooku byl do zesilovače přiveden ve smyčce signál bílého šumu Basy a výšky zesilovače byly nastaveny na nulový bod (bod kdy zesilovač přenese stejný signál jako byl do něj přiveden). Hlasitost reproduktoru byla pomocí hlukometru nastavena na 90 dB. Při takto připravené soustavě byl hlukoměr posouván po ose reproduktoru v krocích po 15° . V každém kroku bylo změřeno maximum a minimum hluku. Měření probíhalo do velikosti úhlu 180° . Z těchto hodnot byly spočítány průměry a z nich sestaveny směrové charakteristiky každého z reproduktorů.

Schéma zapojení



Obr.10.2 Schéma zapojení měření směrové charakteristiky

Použité měřicí přístroje

Hlukoměr - Greisinger GSH 8922

Poznámka:

Naměřené hodnoty pro směrové charakteristiky viz. příloha č.27

Směrové charakteristiky reproduktorové soustavy viz příloha č.28

Porovnání směrových charakteristik viz příloha č. 29

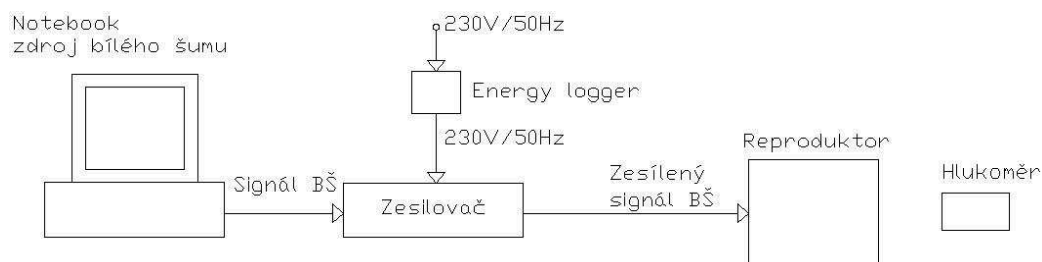
Z výsledných charakteristik můžeme říci, že reproduktor vyzařuje nejvíce akustického tlaku ve své ose do předu. Čím více se vychýlíme mimo jeho osu síla akustického tlaku klesá. V praxi se to projevuje tak, že reproduktor slyšíme méně. Při srovnání obou charakteristik je viditelný jejich rozdíl. Ten může být způsoben nepřesným nastavením hluku reproduktoru v počátcích měření, nebo nepřesnou vzdáleností hlukoměru od reproduktoru při jeho posunu o další úhel. V závěru můžeme tedy říci, že ozvučnice reproduktoru plní svou funkci a odděluje přední zvukovou stěnu od zadní.

10.3. Příkon NF zesilovače

Příkon zesilovače byl měřen pomocí Energy loggeru, který slouží jako rozbočovač. Ten byl zapojen do sítě 230V/AC a do něj byl zapojen přívodní kabel zesilovače. Energy logger zaznamenává aktuální odběr připojeného přístroje ze sítě. Z notebooku byl přiveden signál bílého šumu do zesilovače a spuštěn ve smyčce.

Odběr zesilovače byl měřen při klidovém stavu a následně při zesílení reproduktoru na 90dB hladiny akustického tlaku.

Schéma zapojení



Obr.10.3 Schéma zapojení měření příkonu NF zesilovače

Použité měřicí přístroje

Energy logger 3500 VoltCraft plus

Odběry ze sítě

V klidovém stavu: 24,3 W

Při vybuzení reproduktoru: 35,5 W

V tomto případě byl zatížen pouze jeden kanál zesilovače. Při zatížení obou kanálů by odběr ze sítě měl být cca 2x větší.

10.4. Simulace potlačení a zvýraznění basů NF zesilovače

Funkce korekčního předzesilovače byla nasimulována v programu MicroCap7. Schéma zapojení bylo překresleno do programu. Na vstup byl přiveden ideální signální. V první případě bylo nasimulováno potlačení hlubokých tónů. Z výsledné grafické závislosti (viz příloha č.31) vidíme, že intenzita hlubokých tónů začíná klesat zhruba při 600 Hz. Okolo 300 Hz již intenzita hlubokých tónů klesá výrazně. Při 10 Hz se intenzita hlubokých tónů dostává již k minus 20 dB, v tuto chvíli lze říci, že hluboké tony jsou již téměř neslyšitelné.

V druhém případě bylo nasimulováno zvýraznění hlubokých a vysokých tónů. Z výsledné grafické závislosti (viz příloha č.31) vidíme, že intenzita hlubokých tónů v rozmezí 10 a 50 Hz je velmi výrazná. Když se po charakteristice posuneme dál k frekvenci okolo 10kHz vidíme, že intenzita vysokých tónů je velice výrazná avšak nepřesahuje intenzitu hlubokých tónů. Můžeme tedy říci, že podle simulace je funkce korekčního předzesilovače správná.

Schéma zapojení nakreslené v MicroCap7 viz příloha č.30.

Grafické závislosti potlačení a zvýraznění hlubokých a vysokých tónů viz. příloha č.31.

11. Finanční náklady na audiosoustavu

Pro zajímavost je sestavena finanční náročnost celé audiosoustavy. Jsou zde zahrnuty jednotlivé prvky, moduly, součástky a materiál, který byl potřebný pro sestavení celé audiosoustavy. Ceny jsou uvedeny v Kč včetně DPH.

11.1. NF výkonový zesilovač 2 x 125 W

Název	Označení / popis	Počet	Cena/ks	Celkem
Skříň	Nerez, vyrobená zakázkově	1	550	550
Karbonová folie	3D SWTICKER 63 X 50	1	570	570
Trafo	TST200/018 2x30 V	1	889	889
NF předzesilovač	PSP6541SX - nesestavený modul	1	743	743
NF korekční zesilovač	RSD4132SX - nesestavený modul	1	469	469
NF koncový stupeň	KSD8251SX - nesestavený modul	1	609	609
Zdroj	NZD9A50SX - nesestavený modul	1	269	269
Celkové Ochrany	XSJ2168SX - nesestavený modul	1	594	594
Indikátory vybuzení	ASJ3915 SX - nesestavený modul	1	343	343
DPS přepínač vstupů	Vyrobena podle schématu	1	63	63
Chladič	CHL32B/60 BLK	1	399	399
Ventilátor	KDE1206-PHS3	2	89	178
Sítový konektor 230V	EURO13 VPJ	1	39	39
Hlavní vypínač	SSK1350 01	1	39	39
Přepínač vstupů	SR206-DPS	1	49	49
Knoflík přístrojový	KN204-ALU	4	65	260
Knoflík přístrojový	KN206-ALU	1	70	70
Držák LED	PLD-30	25	12,5	313
Led Dioda	L934LGD	14	2	28
Led Dioda	L934LYD	2	2	4
Led Dioda	L934LID	4	2	8
Led Dioda	LED3BLU3500	5	7,5	38
Kontrolka zapnutí	KTR020-BLU	1	24	24
Výstup. svorka repro	SV20G BLK	2	46	92
Teplotní čidlo	KTY81-210	1	21	21
Výstup. svorka repro	SV20G RED	2	46	92
Nohy skříně	GN2	4	5	20
Distanční sloupky	KDI6M3x10	20	5,5	110
Šroub	M10x55	1	5	5
Šroub	M3x6	42	0,5	21
Šroub	M3x10	6	0,6	4
Šroub	M3x40	4	1	4
Matice	M10	1	3	3
Matice	M3	12	0,3	4
Faston	ZAK 2.8x0.5	24	1	24
Faston	ZAK 4.8x0.5	26	0,8	21
Faston	ZAK 6.3x0.8	15	0,8	12
Kryt faston	2.8-WHT	24	0,7	17
Kryt faston	4.8-WHT	26	0,7	18
Kryt faston	6.3-WHT	15	0,7	11
Dvojlinka	1.0	1m	17	17
Dvojlinka	0.5	3m	12	36
CU lanko	CYA 0.75 RED	2m	5,5	11
CU lanko	CAY 0.75 BLU	2m	5,5	11
CU lanko	CAY 0.75 BLK	2m	5,5	11
Celkem				7113

Tab.11.1 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení zesilovače

11.2. Reproduktorová soustava

Název	Označení / popis	Počet	Cena/ks	Celkem
MDF deska	Konstrukční materiál pro ozvučnici	2,5m ²	304	760
Dřevěný hranol	20x20 mm - pro uchycení víka	4,5m ²	48	216
Nerezové čelo	Nerezové čelo reprosoustavy	2	240	480
Madlo Florie	Nerezové madlo pro přenos	4	131	524
Basový reproduktor	Beyma 8WOOFER/P-V2	2	1210	2420
Středotonový reproduktor	Beyma 5MP60N	2	920	1840
Výškový reproduktor	Beyma CP16	2	650	1300
Karbonová folie	3D SWTICKER black	3m ²	333	999
Bassreflex nátrubek	Nátrubek Ø67 mm	2	59	118
Konektor miska	REP2GH 2Z	2	49	98
Reproduktorové nohy	GN2	8	5	40
Dvojlinka	1,5	16m	23	368
Lepidlo	Soudal	1	132	132
Dřevokyt	Soudal	1	58	58
Lak bezbarvý	Axapur lesk U1010	1	179	179
Sanitární silikon	Soudal	1	113	113
Vatelín	Tlumící rouno	2m ²	45	90
Míralon	Těsnící materiál	1m ²	19	19
Šroub nábytkářský	5x40 zn.nab	78	0,4	31
Šroub	M3x50 ZB DI	36	0,2	7
Šroub	M3x30 ZB DI	16	0,2	3
Šroub	3x35 zn DIN91	106	1,7	180
Šroub	4x50 zn DIN91	24	1,2	29
Šroub	5x40 zn DIN91	8	0,7	6
Šroub	6x60 zn DIN81	24	1,1	26
Matice	M6 ZAR4	24	1,9	46
Matice	M3 zn DIN934	158	0,1	16
Matice	M4 zn DIN934	24	0,1	2
Matice	M5 zn DIN934	8	0,1	1
Podložka	M3 zn DIN1	158	0,2	32
Podložka	M4 zn DIN1	24	0,1	2
Podložka	M5 zn DIN1	8	0,1	1
Podložka pérová	M3 zn PRU	158	0,1	16
Podložka pérová	M4 zn PRU	24	0,1	2
Podložka pérová	M5 zn PRU	8	0,1	1
Celkem				10155

Tab.11.2 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení reproduktorové soustavy

Poznámka:

V tabulce není uveden rozpis součástek pro sestavení frekvenčních filtrů. Tento rozpis je sestaven níže v tabulce Tab.11.3

11.3. Frekvenční filtry - výhybky

Název	Označení / popis	počet	Cena/ks	Celkem
Cívka	2,7 mH	2	200	400
Cívka	2,2 mH	2	180	360
Cívka	0,56 mH drát 1,25	2	150	300
Cívka	0,15 mH	4	47	188
Kondenzátor	svitkový 15 μ F	2	84	168
Kondenzátor	svitkový 10 μ F	4	58	232
Kondenzátor	svitkový 6,8 μ F	4	47	188
Kondenzátor	svitkový 2,2 μ F	4	30	120
Kondenzátor	svitkový 1,5 μ F	2	26	52
Odpor	keramický 22 ohm/20W	2	15	30
Odpor	keramický 6,8 ohm/20W	4	15	60
Odpor	keramický 2,2 ohm/20W	2	15	30
Patice	pro ochrannou žárovku	2	37	74
Ochranná žárovka	12V/20W	2	41	82
Faston samec	FS6.3 VTP 6.3x0.8	16	1,2	19
Faston samice	ZAK 6.3x0.8	16	0,8	13
Kryt faston	6.3-WHT	16	0,7	11
Kuprextit		6,4 dm ²	28	179
Chlorid železitý	leptací roztok	1	119	119
Distanční sloupky	KDI6M3x20	8	6,5	52
Celkem				2677

Tab.11.3 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení frekvenčních filtrů

11.4. Celkové náklady na audiosoustavu

Název	Označení / popis	počet	Cena/ks	Celkem
NF zesilovač	Výkon 2 x 125 W	1	7113	7113
Reproduktorová soustava	Tří pásmová	1	10155	10155
Frekvenční filtry	Propust 1000/6000 Hz	1	2677	2677
Celkem				19945

Tab.11.4 Celkové náklady na audiosoustavu

Celkové náklady na audiosoustavu činily 19945 Kč vč. DPH. Náklady uvedené v tabulkách jsou pouze za konstrukční materiál.

11.5. Časová náročnost

Název	Označení / popis	počet	Čas/hod.
NF zesilovač	Výkon 2 x 125 W	1	210
Reproduktorová soustava	Tří pásmová	1	115
Frekvenční filtry	Propust 1000/6000 Hz	1	26
Celkem			351

Tab.11.5 Rozpis hodin potřebných pro sestavení celé audiosoustavy

Rozpis hodin na každou soustavu obsahuje pouze hodiny potřebné pro sestavení jednotlivých prvků, konstrukčních částí a zapojení kompletní kabeláže. U zesilovače jsou zde zahrnuty i hodiny potřebné pro oživení modulů. V rozpisu nejsou zahrnuty hodiny potřebné pro návrh a výpočty součástí jako např. výpočet ozvučnice frekvenčních filtrů kreslení výkresů atd.

12. ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byly rozebrány základní vlastnosti zvuku. Dále teoretická funkce elektromagnetického reproduktoru a parametry určující jeho vlastnosti. Byly popsány typy ozvučnic, jejich vlastnosti a materiály pro jejich výrobu. U NF zesilovačů byly představeny typy podpůrných obvodů sloužící pro bezproblémový chod zesilovače.

Praktická část byla zaměřena na návrh a realizaci reproduktorové soustavy s bassreflexovou ozvučnicí metodou aproximace maximally flat. Dalším krokem bylo navržení a sestavení reproduktorové výhybky. V posledním kroku byly popsány technické požadavky na NF zesilovač podle kterých byl zvolen modul koncového stupně zesilovače a podpůrné moduly pro jeho bezproblémový chod.

Při realizaci ozvučnice bylo vycházeno z teoretického návrhu bassreflexové ozvučnice. Rozměry ozvučnice byly navrženy v závislosti na vypočteném vnitřním objemu ozvučnice. Pro konstrukci byla použita MDF deska. Z hlediska designu reproduktorové soustavy byla ozvučnice polepena černou karbonovou folií v kontrastu s nasazeným nerezovým čelem. Z naměřených hodnot směrových charakteristik lze říci, že ozvučnice bez problémů plní svou funkci oddělení přední a zadní zvukové stěny. Reproductory vyzáří nejvíce akustického tlaku ve směru své osy. Jejich nejvhodnější použití je ve středně malých uzavřených místnostech.

Reproduktorové výhybky jsou realizovány jako jednodeskové. Při návrhu se počítalo s průchodem větších proudů, proto byla navržena a sestavena DPS se systémem dělicích čar. Z naměřených hodnot spektrálních charakteristik můžeme vyčíst, že reproduktorové výhybky přenáší celé frekvenční pásmo. V nižších frekvencích je viditelný pokles akustického tlaku. Ten byl pravděpodobně způsoben nepřesným nastavením nulového bodu korekcí zesilovače. V závěru můžeme tedy říci, že reproduktorové výhybky plní svou funkci a správně rozdělují signál do jednotlivých reproduktorů.

Při realizaci NF zesilovače byla navržena celková velikost skříně podle použitých modulů. Skříň byla sestavena z leštěného nerezového polepeného karbonovou folií. Na přední straně zesilovače je nasazeno čelo s popisky jednotlivých funkčních tlačítek a ovládacích prvků. Jednotlivé moduly jsou napájeny symetrickým napětím cca $\pm 45\text{V}$. Celý zesilovač je napájen ze sítě 230V/50Hz. Napětí pro moduly je upraveno pomocí síťového transformátoru a zdroje symetrického napětí. Byla provedena simulace korekčního zesilovače v programu MC7. Z charakteristik lze vyčíst, že basy jsou nejvíce zvýrazněny okolo 30Hz a výšky okolo 18 až 20 kHz. Při potlačení basů se dostáváme při 30Hz na hladinu cca -16 dB. Tudíž můžeme říci, že hodnoty korekčního předzesilovače udávané výrobcem jsou správné. Ve skutečnosti můžeme basy a výšky regulovat v intervalu od -16 do +16 decibel.

Při měření odběru zesilovače ze sítě bylo zjištěno, že zesilovač při klidovém stavu má příkon cca 24W a při zesílení reproduktoru na 90 dB hladiny akustického tlaku cca 35W. (Při zatížení pouze jednoho kanálu).

Na audiosoustavě byly provedeny základní měření a simulace. Podrobnější měření parametrů audiosoustavy by mohlo být námětem k rozšíření diplomové práce.

Veškerá měření provedená na audiosoustavě byla provedena v klasické neodhlučněné místnosti. Tudíž výsledky měření mohou být mírně zkreslené a nemohou být použity k získání různých certifikací potřebných ke komerčním účelům.

Z naměřených hodnot a jejich výsledků můžeme říci, že celá audiosoustava je srovnatelná se sériově vyráběnými soustavami s podobnými parametry. Cena celé soustavy je vyšší oproti sériově vyráběným. Je to způsobeno hlavně některými díly, které byly vyráběny kusově na zakázku.

Při návrhu byly pochopeny principy návrhu reproduktorových soustav s bassreflexovým nátrubkem pomocí metody aproximace typu maximally flat. Při sestrojování ozvučnice se musí dbát na dodržení celého jejího vnitřního objemu. U větších výchylek dochází ke zkreslování výsledného zvuku. Velký důraz je třeba klást na kompletní izolaci reproduktorové ozvučnice, aby nedocházelo k úniku vzduchu jinudy než bassreflexovým nátrubkem. Celá ozvučnice se pak ladí pomocí průměru a délky nátrubku. Je tedy dobré nejdříve volit malé průměry a celou soustavu odzkoušet a popřípadě upravit průměr nátrubku. Při zapojování reproduktorové soustavy věnujeme pozornost hlavně délce kabelů připojených reproduktorů. V obou případech by měla být stejná i když jsou každý z reproduktorů umístěny v jiné délce od zesilovače. Hraje zde roli impedance kabelu, která ovlivní výslednou impedanci reproduktoru a dochází k rozdílné reprodukci zvuku u každého reproduktoru. Dá se tedy říci, že kvalitní reproduktorovou soustavu musíme umět také řádně zapojit.

Na závěr práce byly pro zajímavost sestaveny finanční náklady na celou audiosoustavu. Ty činily 19945 Kč včetně DPH. V porovnání u profesionálně vyráběných sestav za přibližně stejnou cenu zakoupíme zajisté kvalitnější sestavu. Je to způsobeno hlavně sériovou výrobou, zkušenostmi a mnohem většími možnostmi daných firem.

13. SEZNAM LITERATURY

- [1] Kamil Toman: Reprodukory a reprosoustavy: 1. díl, 1. vydání, vydal Dexon – Orlová 2003
- [2] <http://www.audioweb.cz>
- [3] <http://www.tvn-valmez.cz>
- [4] <http://www.repromania.net/teorie/parametry-reproduktoru.php>
(6.1.2012/15:46)
- [5] <http://cs.wikipedia.org>
- [6] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/21sw1600-nd-reproduktor-basovy.html>
(21.3.2012/19:01)
- [7] <http://www.czechaudio.com>
- [8] <http://www.akela.mendelu.cz>
- [9] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/8mi100-reproduktor-stredotonovy.html>
(17.2.2012/10:56)
- [10] http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/aplikace/zdroj_symetr_napeti.html
(10.3.2012/ 12:51)
- [11] KOTISA, Zdeněk. *NF zesilovače : 3.díl Tranzistorové výkonové zesilovače*. 1. vyd.Praha :BEN - technická literatura, 2003. 96 s. ISBN 80-7300-065-2.
- [12] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/404-reproduktorove-soustavy>
(11.3.2012/09:53)
- [13] <http://www.hifisound.cz/reprosoustavy/monitor-audio/monitor-audio-gold-gx/monitor-audio-gold-gxw15>
(11.3.2012/12:23)
- [14] <http://www.hifisound.cz/reprosoustavy/dali/dali-concept-serie/dali-concept-10>
(11.3.2012/12:33)
- [15] <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/9-kroku-proti-spatnemu-vyberu-reprosoustav-domaciho-kina-a-hifi.html>
(11.3.2012/12:44)
- [16] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/15sw1300-nd-reproduktor-basovy.html>
(9.11.2011/18:48)
- [17] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/cp16-reproduktor-vyskovy.html>
(17.2.2012/11:01)
- [18] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/10ag-n-reproduktor-siropasmovey.html>
(18.2.2012/21:39)
- [19] Katalogové listy Beyma
- [20] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/8woofer-p-v2-reproduktor-basovy-hifi.html>
(13.2.2012/10:38)
- [21] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/5mp60n-reproduktor-stredobasovy-hifi.html>
(13.2.2012/11:46)
- [22] <http://www.dexon.cz/katalog/reprodukory/beyma/cp16-reproduktor-vyskovy.html>
(13.2.2012/13:16)
- [23] www.ezk.cz
- [24] Technické dokumentace k modulům firmy EZK

14. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1 – Rozměry basového reproduktoru [19]	77
Příloha číslo 2 – Impedanční křivka basového reproduktoru [19]	78
Příloha číslo 3 – Rozměry středobasového reproduktoru [19]	79
Příloha číslo 4 – Impedanční křivka středobasového reproduktoru [19]	80
Příloha číslo 5 – Rozměry vysokotónového reproduktoru [19]	81
Příloha číslo 6 – Impedanční křivka vysokotónového reproduktoru [19]	82
Příloha číslo 7 – Výkres bokorysu reproduktorové ozvučnice	83
Příloha číslo 8 – Výkres čela reproduktorové ozvučnice	84
Příloha číslo 9 – Výkres rozvinutého čela reproduktorové soustavy	85
Příloha číslo 10 – Schéma zapojení výhybky a rozpiska součástek pro výhybku	86
Příloha číslo 11 – Deska plošného spoje se zobrazením součástek	87
Příloha číslo 12 - Návrh desky plošného spoje bez pouzder (použití pro nažehlení).....	88
Příloha číslo 13 – Výkres rozvinutého čela skříně zesilovače	89
Příloha číslo 14 – Výkres rozvinuté skříně zesilovače.....	90
Příloha číslo 15 – Výkres víka zesilovače.....	91
Příloha číslo 16 – Napájecí zdroj [24].....	92
Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]	93
Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]	94
Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]	95
Příloha číslo 18 - Korekční zesilovač [24]	96
Příloha číslo 18 – Korekční zesilovač [24]	97
Příloha číslo 18 – Korekční zesilovač [24]	98
Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]	99
Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]	100
Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]	101
Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24].....	102
Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24].....	103
Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24].....	104
Příloha číslo 21 – Indikátory úrovně výkonu [24]	105
Příloha číslo 21 – Indikátory úrovně výkonu [24]	106
Příloha číslo 22– Rozmístění modulů ve skříně zesilovače.....	107
Příloha číslo 23 – Popis modulů v zesilovači.....	108
Příloha číslo 24 – Popis předního a zadního panelu zesilovače.....	109
Příloha číslo 25 – Frekvenční analýza 1. reproduktoru.....	110
Příloha číslo 26 – Frekvenční analýza 2. reproduktoru.....	111
Příloha číslo 27 – Naměřené hodnoty pro směrové charakteristiky.....	112
Příloha číslo 28 – Směrové charakteristiky reproduktorů.....	113
Příloha číslo 29 – Porovnání směrových charakteristik.....	114
Příloha číslo 30 – Simulace potlačení a zvýraznění basů a výšek.....	115
Příloha číslo 31 – Simulace potlačení a zvýraznění basů a výšek.....	116
Příloha číslo 32 – Foto dokumentace výroby reproduktorové soustavy	117
Příloha číslo 33 – Foto dokumentace výroby NF zesilovače	119
Příloha číslo 34 – Foto dokumentace výroby reproduktorové výhybky	120
Příloha číslo 35 – Foto dokumentace měření na audiosoustavě.....	121
Příloha číslo 36 – Kompletní audiosoustava.....	123

15. SEZNAM OBRÁZKŮ

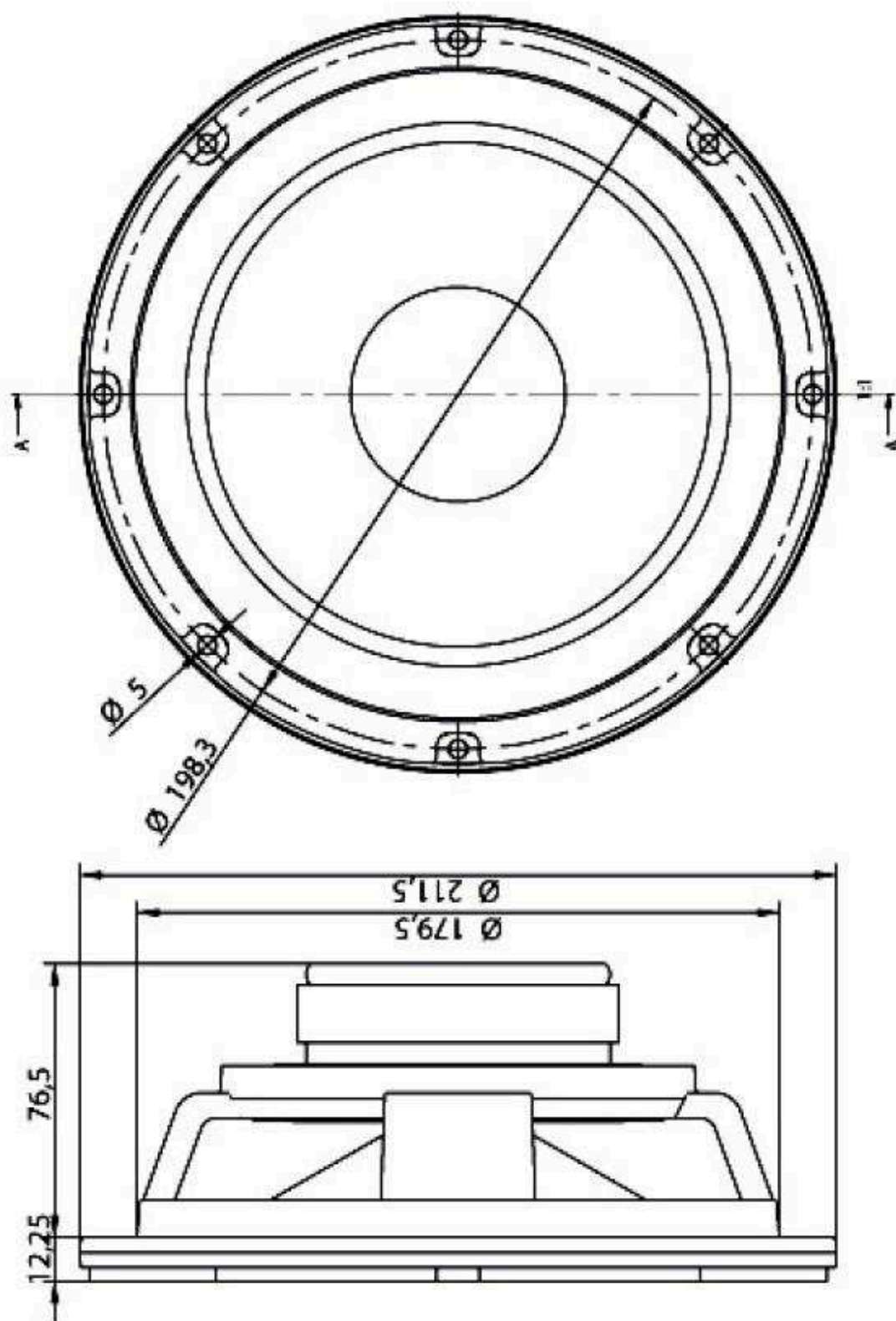
Obr.2.1 Ilustrace podstaty vzniku zvuku [1]	10
Obr.2.4 Vymezení oblasti možného slyšení lidského ucha [1]	11
Obr.2.5 Praktické hodnoty SPL [1].....	13
Obr.3.1 Náhradní schéma reproduktoru	14
Obr.3.2 Funkce reproduktoru.....	15
Obr.3.3 Konstrukční části reproduktoru.....	15
Obr.3.4 Frekvenční závislost absolutní hodnoty impedance přímo vyzařujícího elektrodynamického reproduktoru	17
Obr.3.5.2.1 elektrodynamický reproduktor Beyma 15SW1300/Nd [16]	20
Obr.3.5.2.2 Hnací ústrojí elektromagnetického reproduktoru ARCOPHON.....	21
Obr.3.5.2.3 ukázka piezoelektrického reproduktoru	21
Obr.3.5.3.1 Basový reproduktor Beyma 21SW1600/Nd [6].....	22
Obr.3.5.3.2 Středotónový reproduktor Beyma 8MI100 [9]	22
Obr.3.5.3.3 Výškový reproduktor Beyma CP16 [17]	22
Obr.3.5.3.4 Širokopásmový reproduktor Beyma 10AG/N [18].....	23
Obr.4.3.1.1 Základní zapojení zdroje symetrického napětí bez pojistek na výstupu zdroje [10]	25
Obr.4.3.3 Schéma zapojení tepelné ochrany zesilovače [11].....	26
Obr.4.3.4 Schéma zapojení pro amplitudově závislé proudové omezení	26
koncového stupně[11]	26
Obr.5.1.1 Popis komponentů reproduktorové soustavy [12]	30
Obr.5.2.1 Pasivní tří pásmová reproduktorová soustava Dali Concept 10 [14].....	31
Obr.5.2.2 Aktivní Subwoofer Monitor Audio Gold GXW15 [13].....	32
Obr. 6.2.1 Otevřená ozvučnice [1]	34
Obr.6.2.2 Analogie reproduktoru v uzavřené ozvučnici [1]	35
Obr.6.2.3 Reproduktor v bassreflexové ozvučnici [1]	35
Obr. 6.3.3 spojování stěn na tupo, pokos, pokos se zámkem a zámek se zkosením [1]	37
Obr.6.3.5 Tlumení na stěny, na výztuhu a zig – zag [1]	38
Obr.7.2 Zapojení reproduktorových výhybek s ohledem na strmost jednotlivých filtrů [1].....	39
Obr.7.4 Strmost 12 a 6 dB/oct u tří pásmové výhybky [1]	40
Obr. 8.1.1 Beyma 8WOOFER/P – V2 [20]	43
Obr. 8.1.2 Beyma 5MP60N [21].....	44
Obr.8.1.3 Beyma CP16 [22].....	45
Obr.8.3 Vyrobená reproduktorová soustava	48
Obr.8.5 Vyrobená reproduktorová výhybka	52
Obr.9 Blokové schéma zapojení NF zesilovače.....	55
Obr.9.1 Napájecí zdroj NZD8A45 [23]	56
Obr.9.2.1 Blokové schéma stereofonního předzesilovače [24].....	57
Obr.9.2.2 Stereofonní předzesilovač s elektronickým	58
přepínáním vstupů se symetrickým napájením	58
PSP6541[23]	58
Obr.9.3 NF korekční zesilovač RSD4132 [23]	59
Obr.9.4 NF koncový zesilovač KSD8251 [23]	61
Obr.9.5 Modul ochrany reproduktorů tepelné ochrany zesilovače, omezení.....	62
proudového nárazu při zapnutí, zpožděné připojení zátěže XSJ2168 [23]	62
Obr.9.6 Indikátor úrovně výkonu BSJ3915 [23].....	63
Obr.9.7 Vyrobený NF zesilovač.....	64
Obr.10.1 Schéma zapojení měření frekvenční analýzy	65
Obr.10.2 Schéma zapojení měření směrové charakteristiky	66
Obr.10.3 Schéma zapojení měření příkonu NF zesilovače	67

16. SEZNAM TABULEK

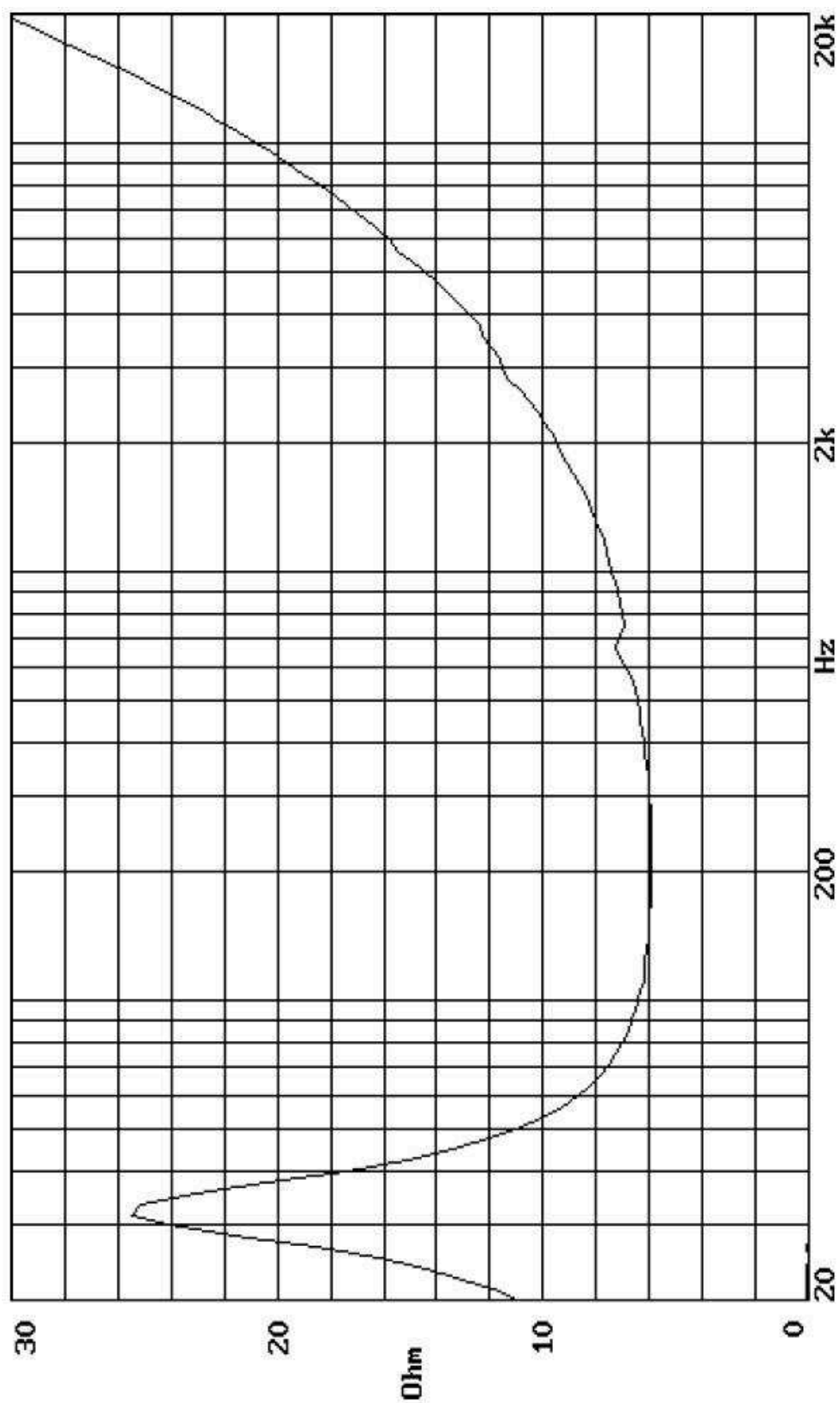
Tab.7.6 Polování reproduktorů na výhybce [1].....	41
Tab.8.1.1 Základní parametry basového reproduktoru [19].....	43
Tab.8.1.2 Základní parametry středo tónového reproduktoru [19]	44
Tab.8.1.3 Základní parametry vysokotónového reproduktoru [19]	45
Tab.8.4 Dělicí kmitočty	49
Tab.9.1 Technické parametry napájecího zdroje [24].....	56
Tab.9.2 Technické parametry stereofonního předzesilovače [24]	57
Tab.9.3 Parametry korekčního zesilovače [24].....	59
Tab.9.4 Technické parametry koncového stupně [24]	60
Tab.9.5 Technické parametry modulu celkové ochrany [24].....	62
Tab.9.6 Technické parametry modulu indikace výkonu [24]	63
Tab.11.1 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení zesilovače	68
Tab.11.2 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení reproduktorové soustavy	69
Tab.11.3 Rozpis součástek a jejich cen pro sestavení frekvenčních filtrů	70
Tab.11.4 Celkové náklady na audiosoustavu.....	70
Tab.11.5 Rozpis hodin potřebných pro sestavení celé audiosoustavy	70

17. PŘÍLOHY

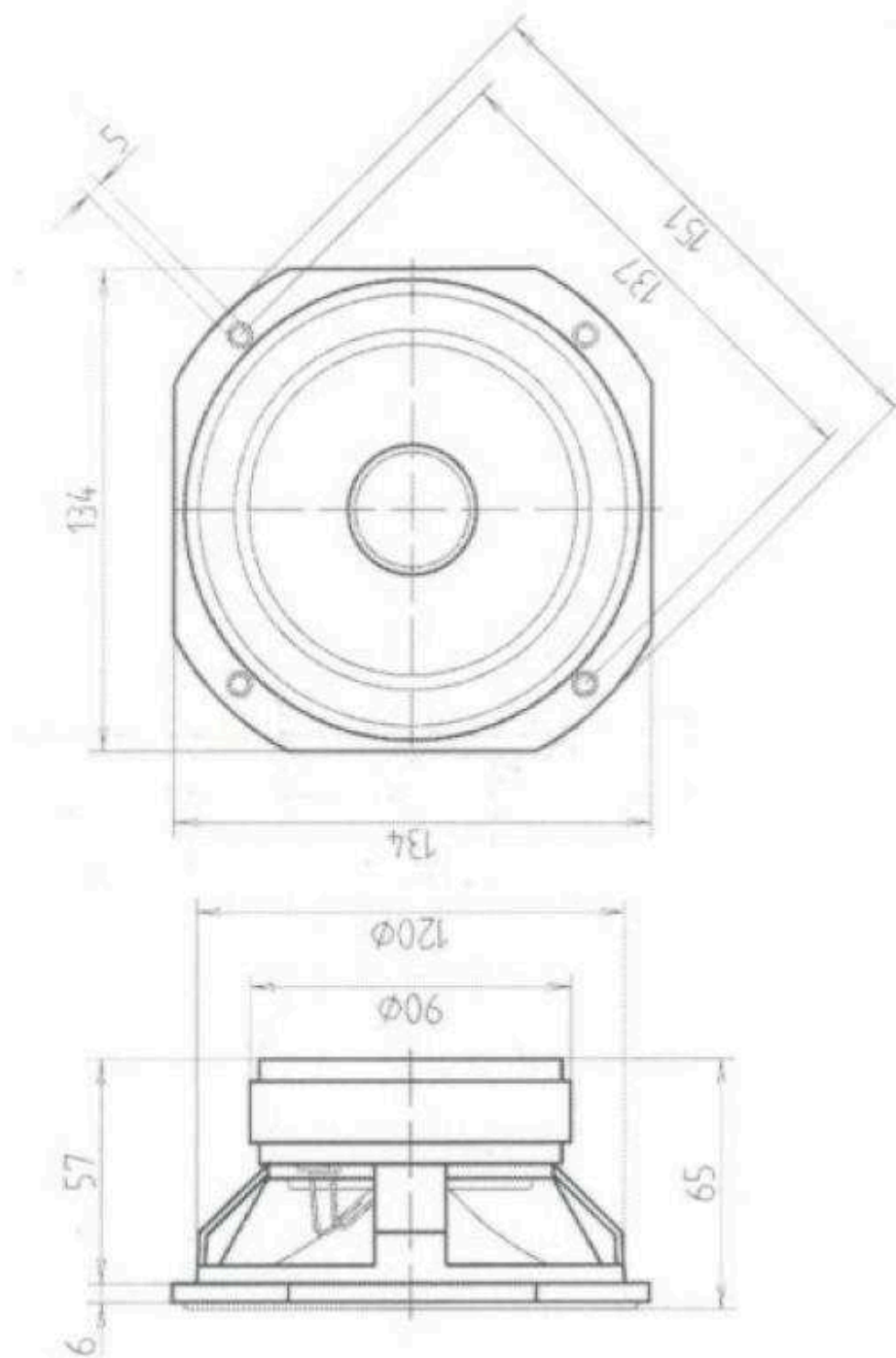
Příloha číslo 1 – Rozměry basového reproduktoru [19]



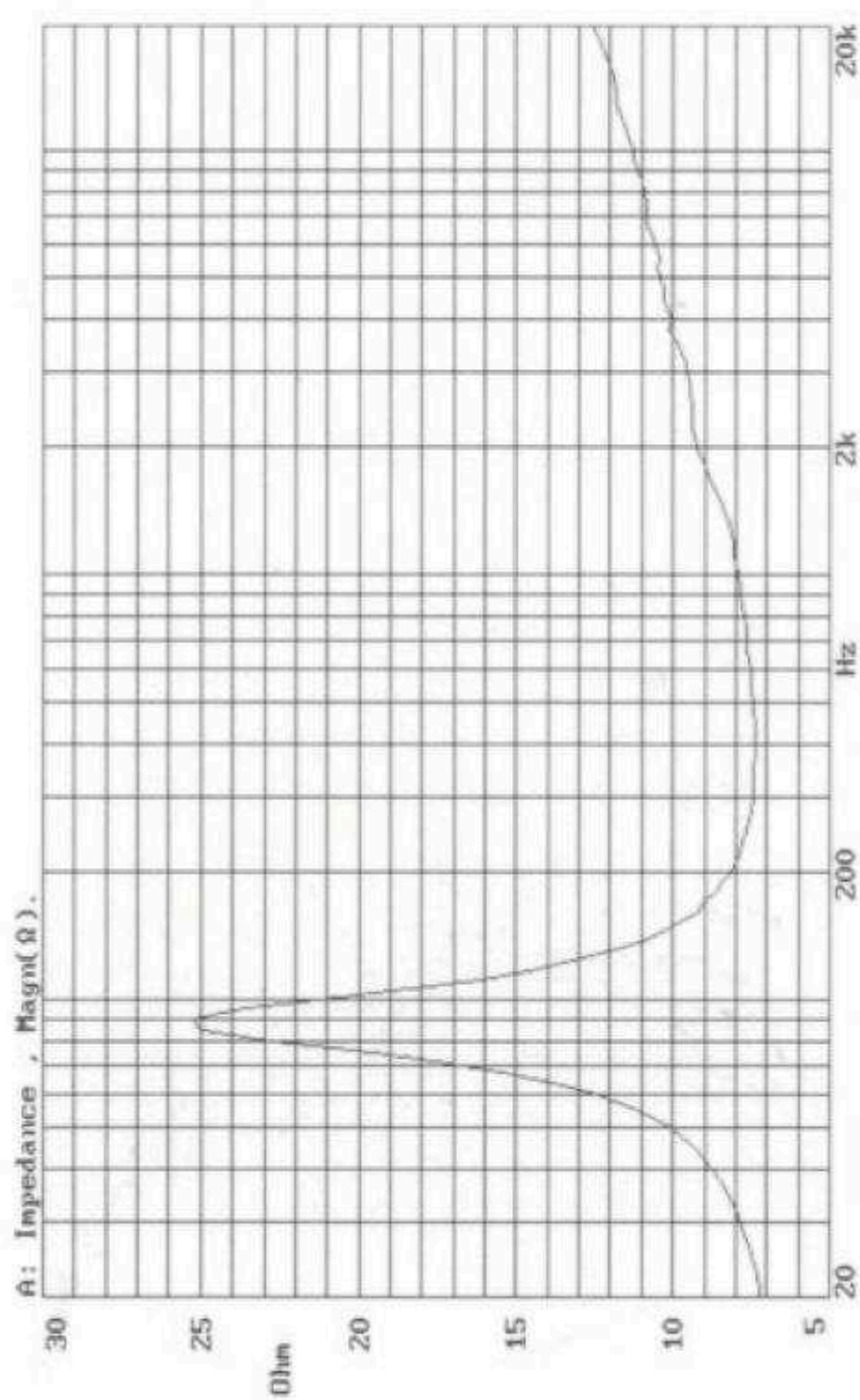
Příloha číslo 2 – Impedanční křivka basového reproduktoru [19]



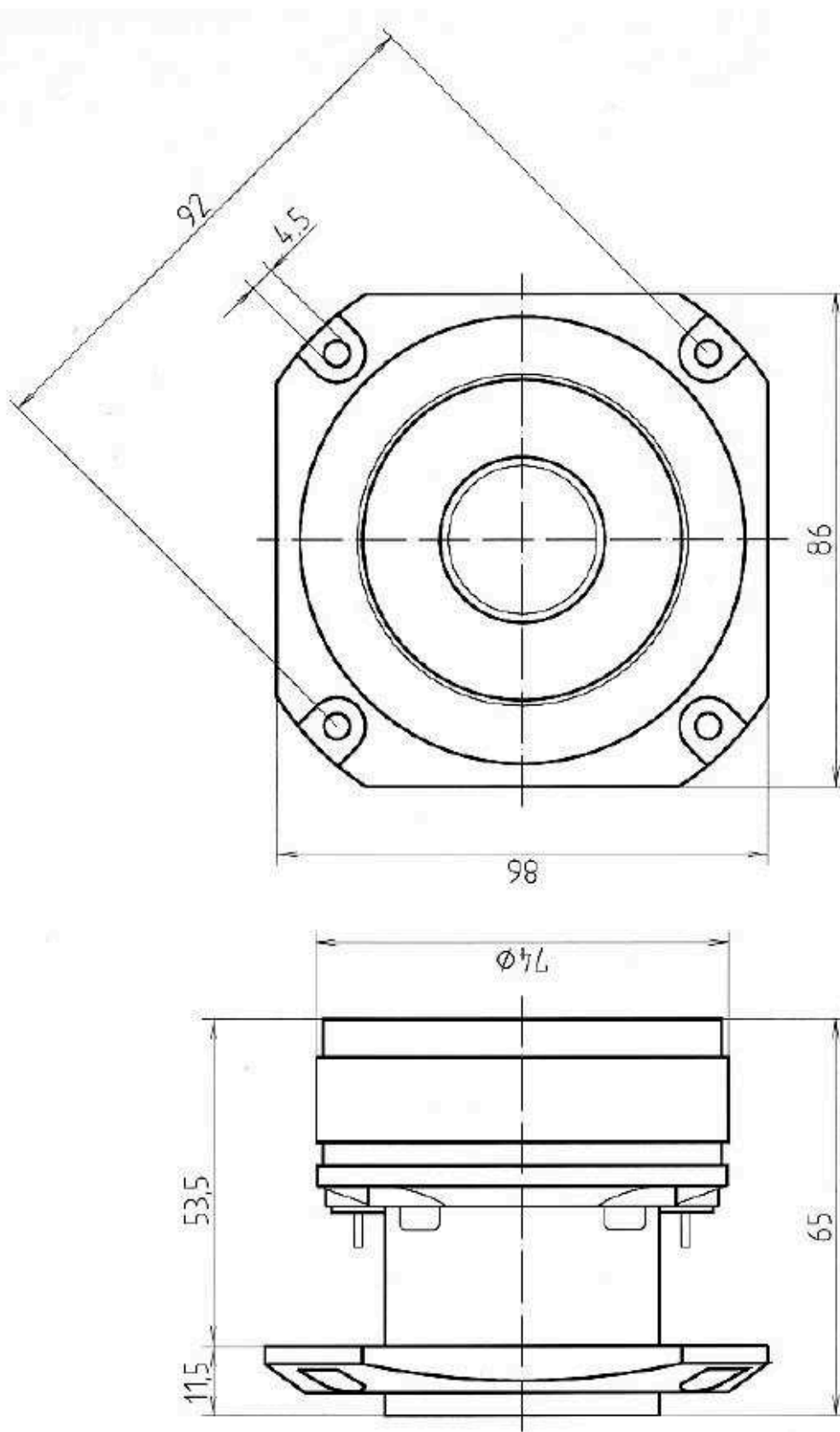
Příloha číslo 3 – Rozměry středobasového reproduktoru [19]



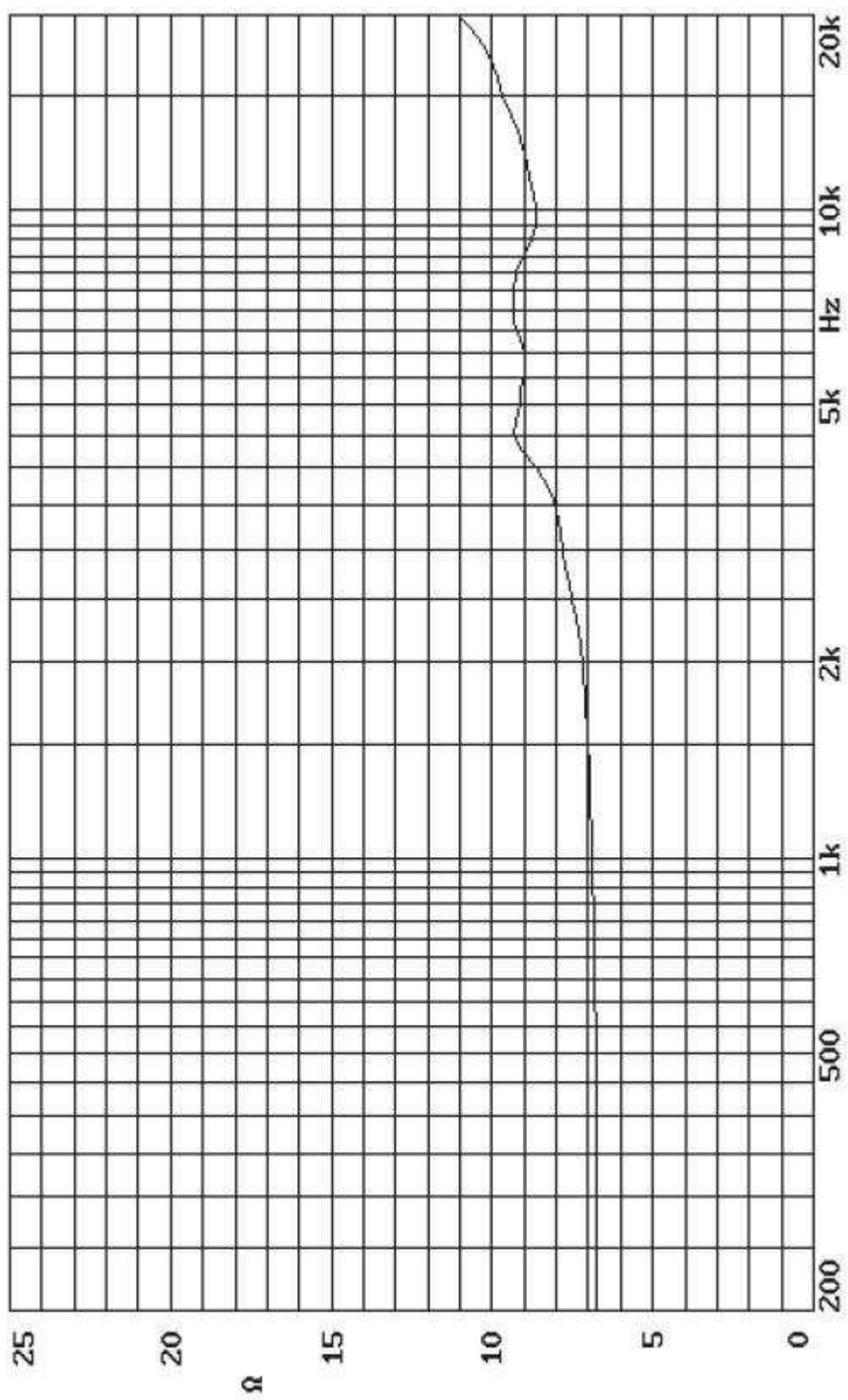
Příloha číslo 4 – Impedanční křivka středobasového reproduktoru [19]



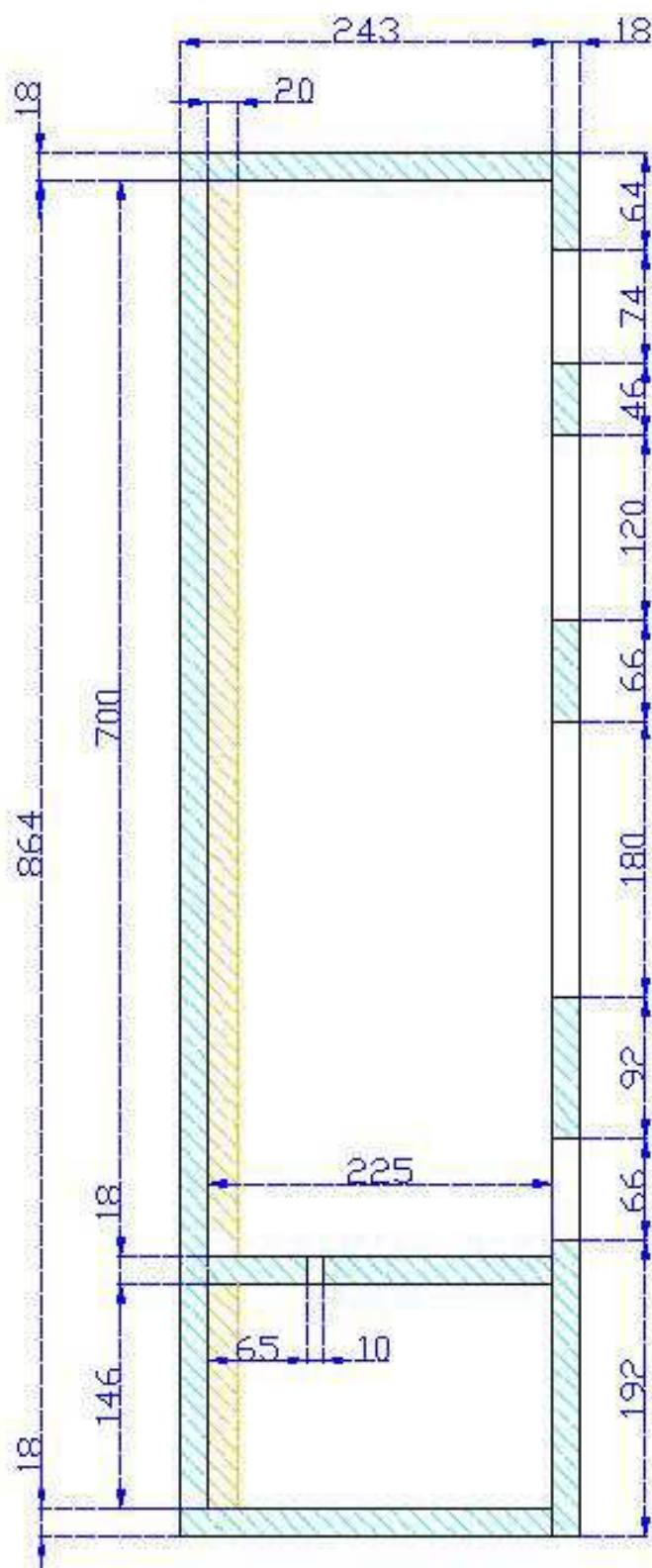
Příloha číslo 5 – Rozměry vysokotónového reproduktoru [19]



Příloha číslo 6 – Impedanční křivka vysokotónového reproduktoru [19]

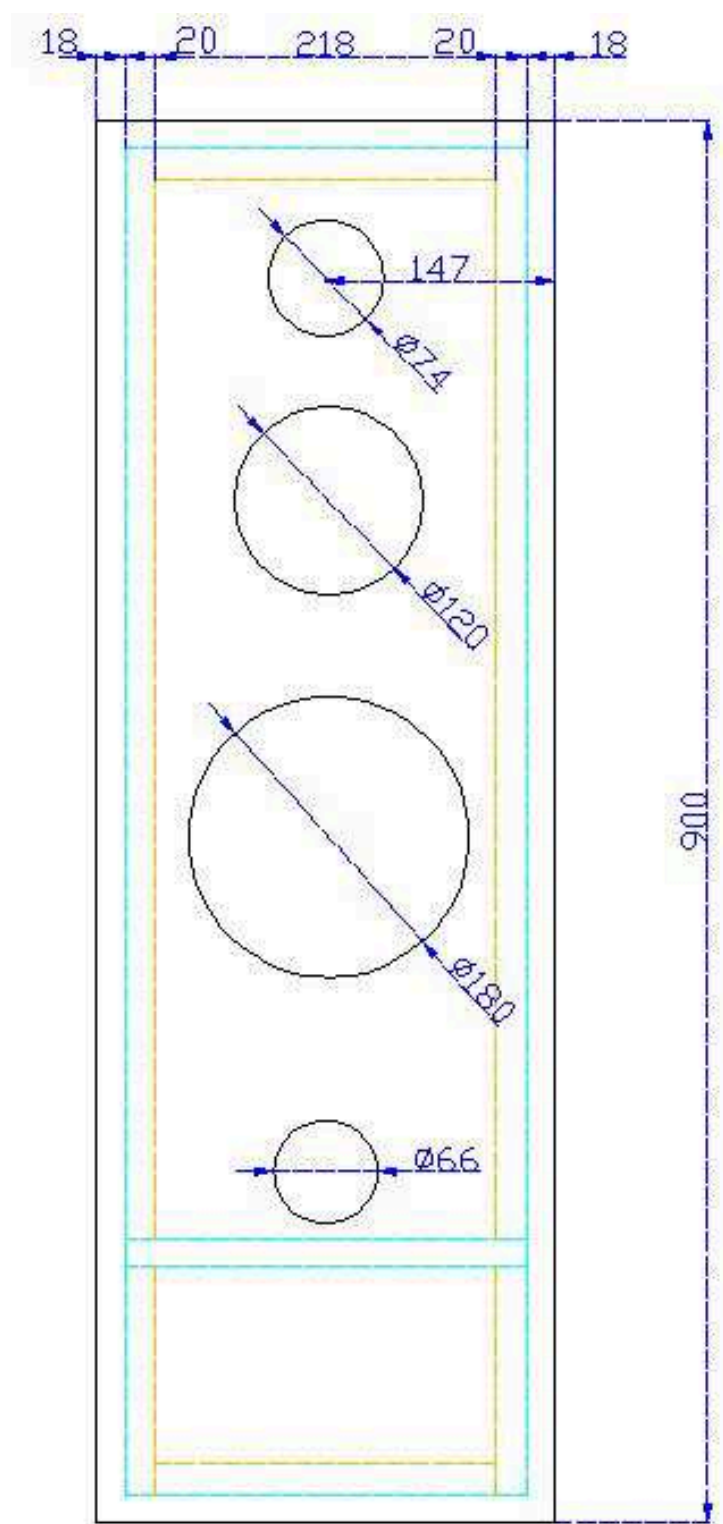


Příloha číslo 7 – Výkres bokorysu reproduktorové ozvučnice



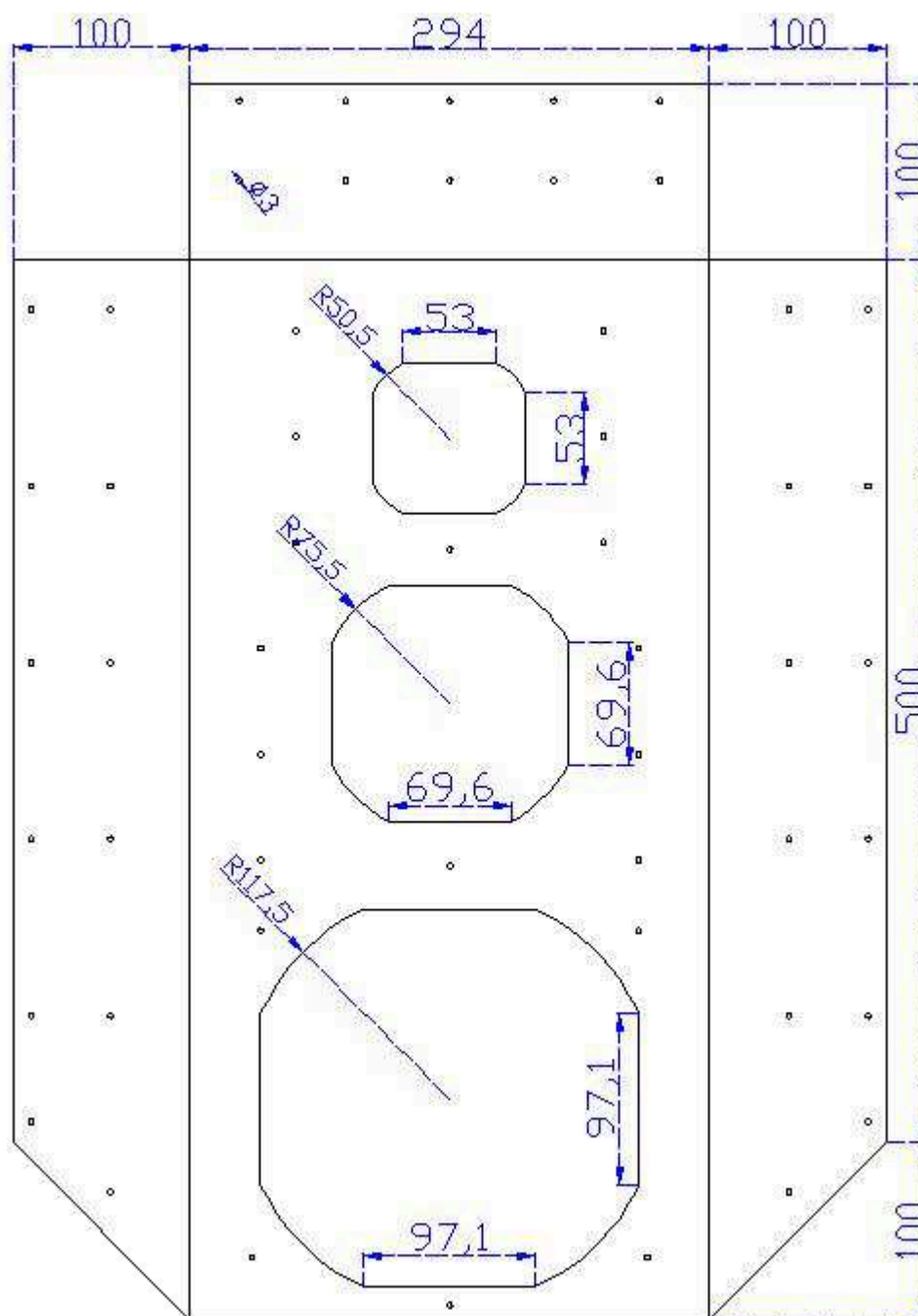
Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Reproduktorová soustava - výkresy/Ozvučnice - bokorys.dwg “

Příloha číslo 8 – Výkres čela reproduktorové ozvučnice



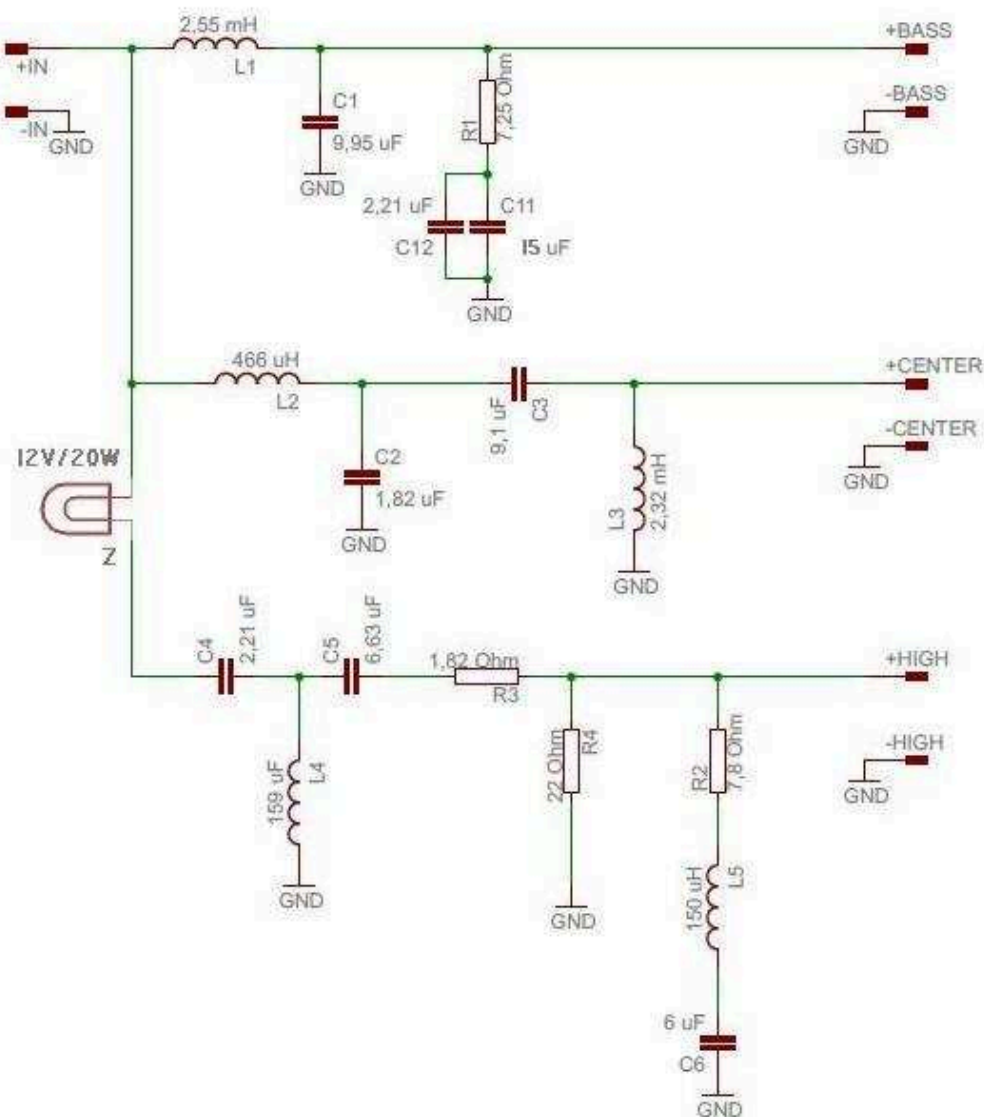
Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Reproduktorová soustava - výkresy/Ozvučnice - čelo.dwg “

Příloha číslo 9 – Výkres rozvinutého čela reproduktorové soustavy



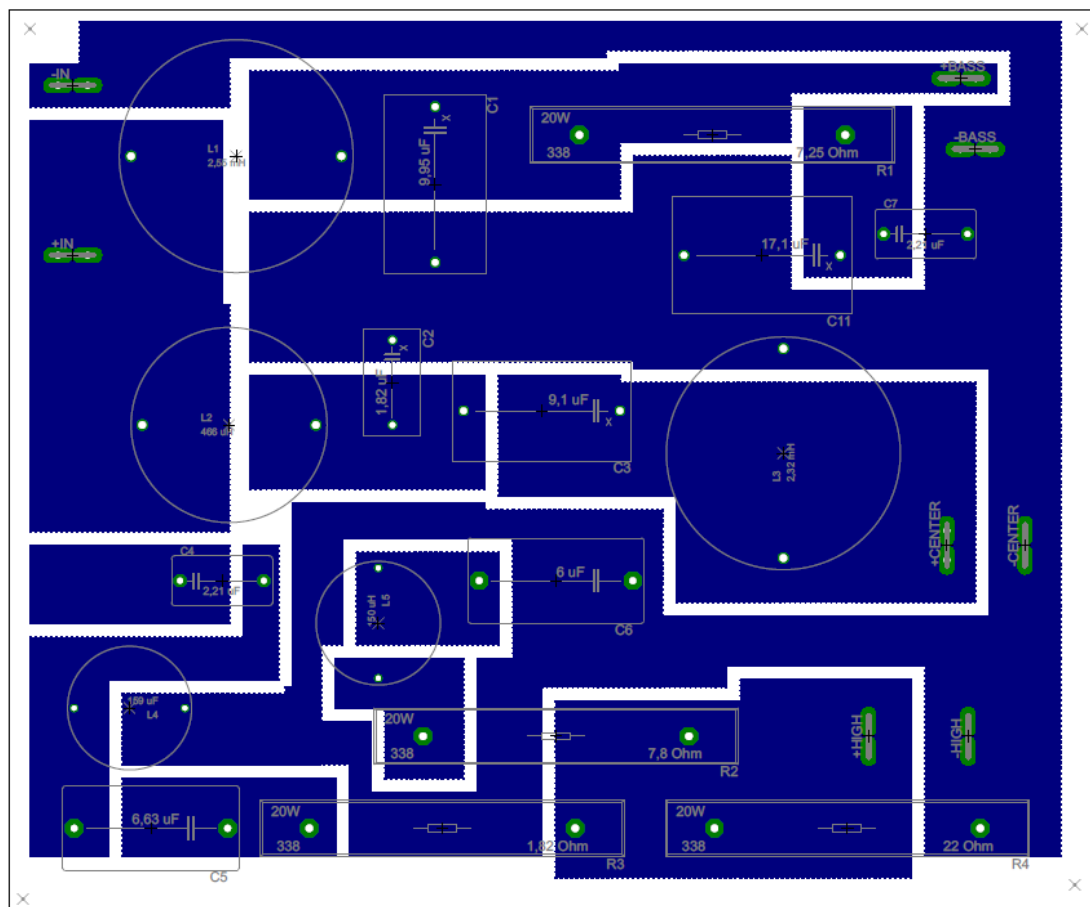
Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Reproduktorová soustava - výkresy/Repro - čelo.dwg “

Příloha číslo 10 – Schéma zapojení výhybky a rozpiska součástek pro výhybku



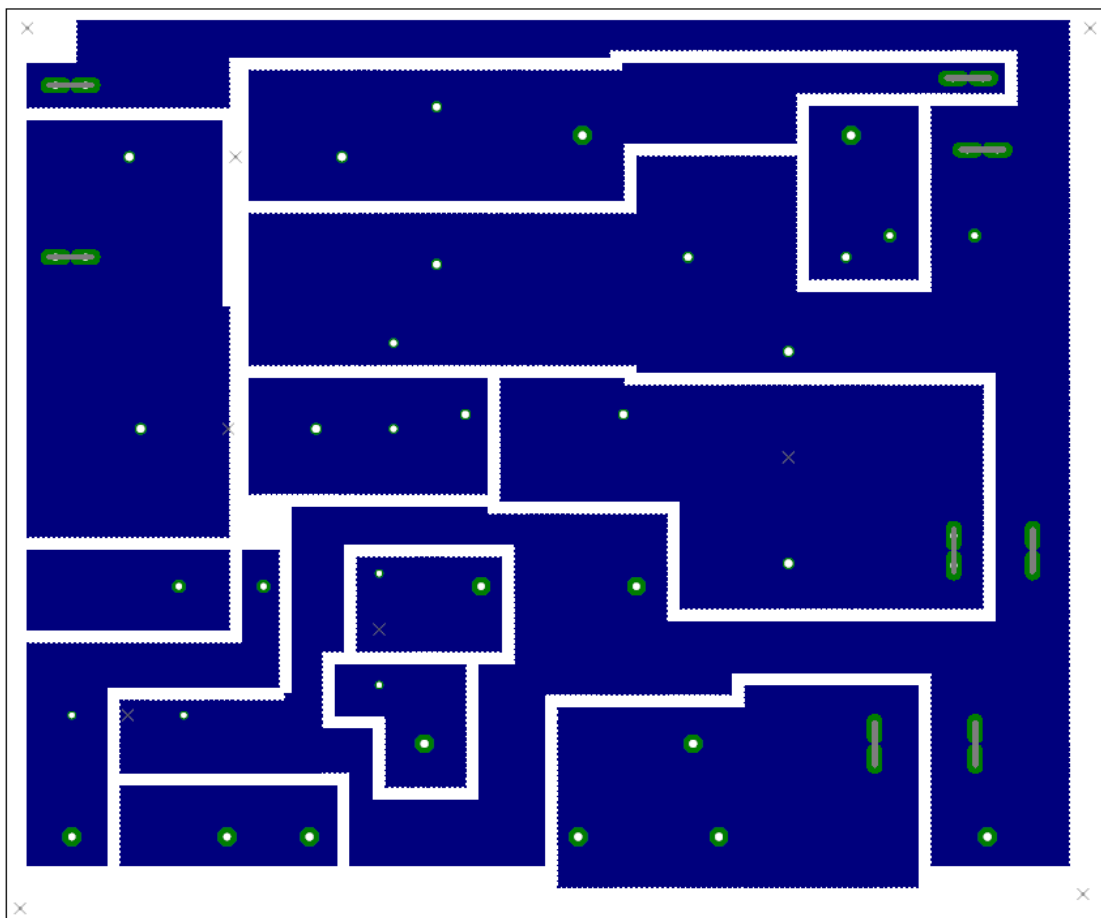
Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
L1	2,7 mH	C3	10 μ F
L2	466 μ H	C4	2,2 μ F
L3	2,2 mH	C5	6,8 μ F
L4	150 μ H	C6	6,8 μ F
L5	150 μ H	R1	6,8 Ω
C1	10 μ F	R2	6,8 Ω
C11	15 μ F	R3	2,2 Ω
C12	2,2 μ F	R4	22 Ω
C2	1,5 μ F	Z	12V/20W
Faston 6.3	8x		

Příloha číslo 11 – Deska plošného spoje se zobrazením součástek



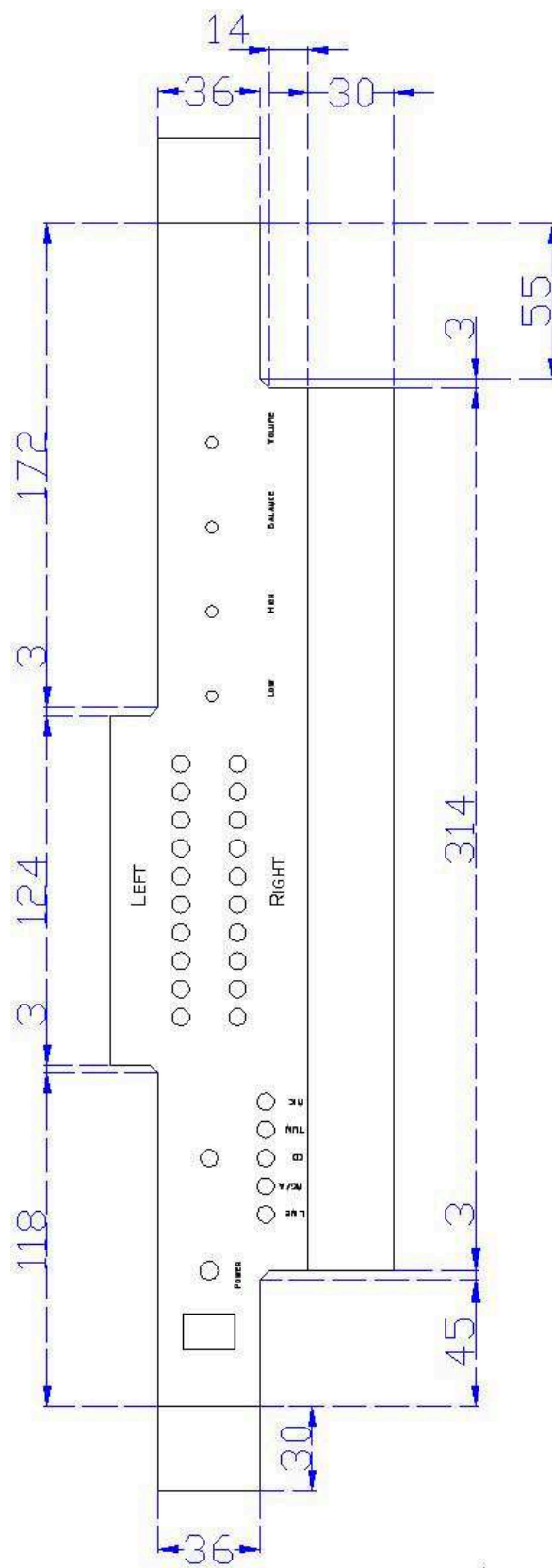
Navržená DPS v měřítku 1:1 viz příložené CD soubor “ Výhybka - návrhy/Výhybka - součástky.pdf “

Příloha číslo 12 - Návrh desky plošného spoje bez pouzder (použití pro nažehlení)



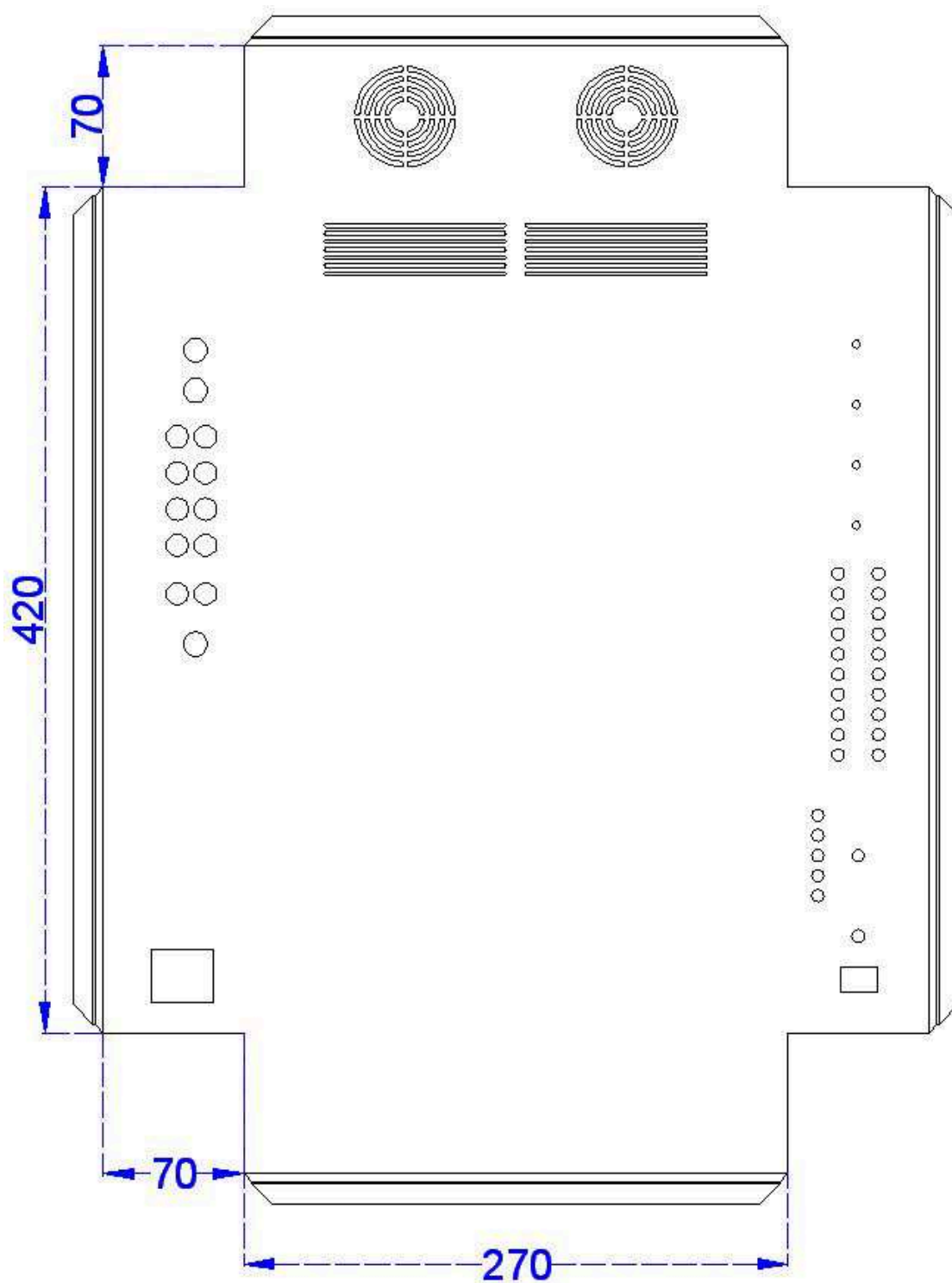
Navržená DPS v měřítku 1:1 viz příložené CD soubor “ Výhybka - návrhy/Výhybka -
nažehlení.pdf “

Příloha číslo 13 – Výkres rozvinutého čela skříně zesilovače



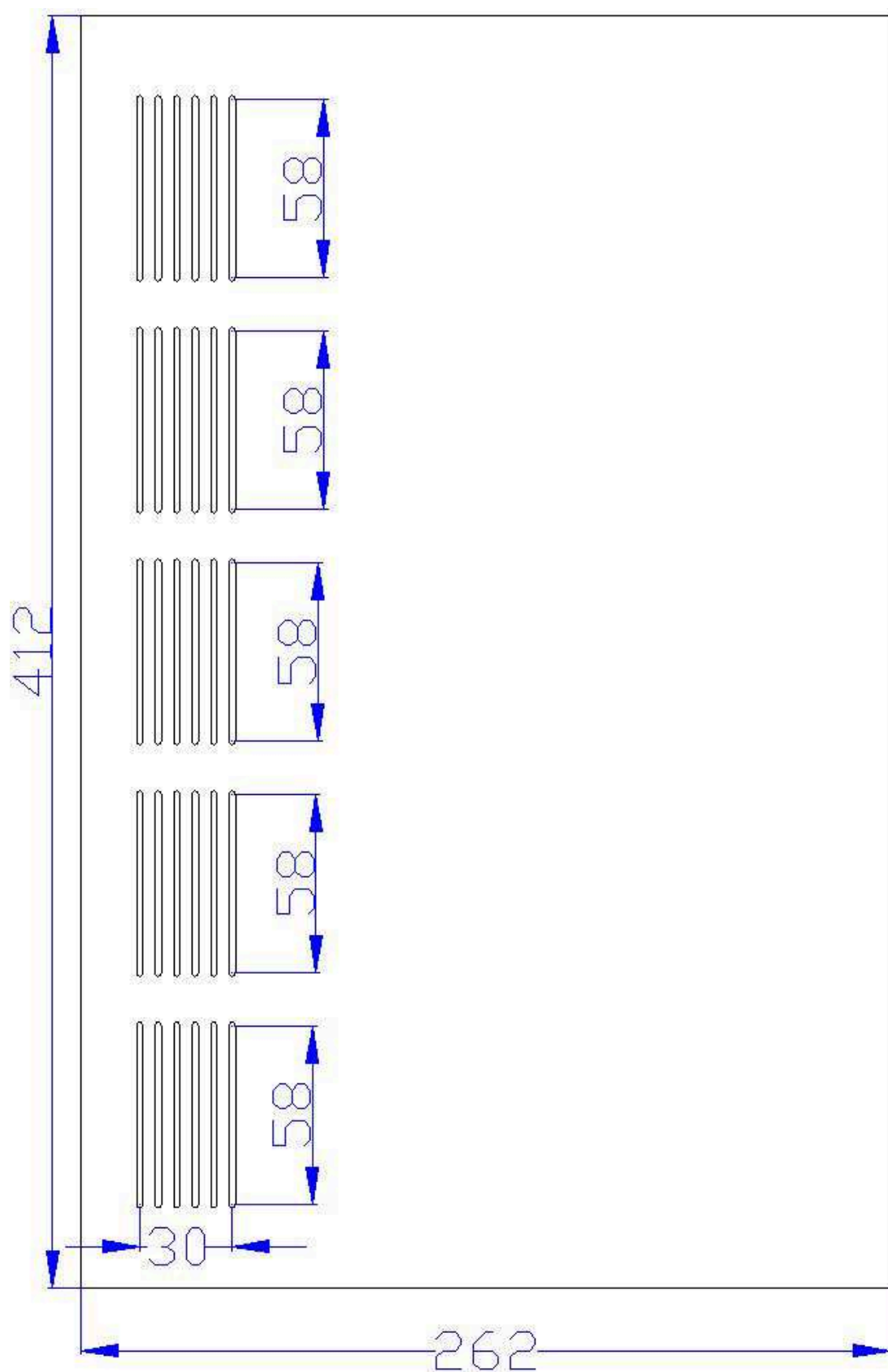
Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Zesilovač – výkresy/Zesilovač – čelo skříně.dwg “

Příloha číslo 14 – Výkres rozvinuté skříně zesilovače



Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Zesilovač - výkresy/Zesilovač - skřín.dwg “

Příloha číslo 15 – Výkres víka zesilovače



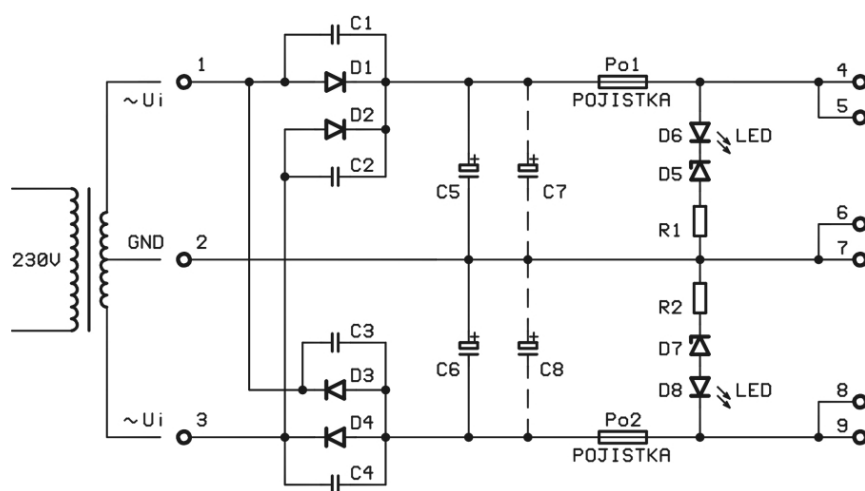
Podrobný výkres se všemi rozměry viz příložené CD soubor “Zesilovač - výkresy/Zesilovač - víko.dwg “

Příloha číslo 16 – Napájecí zdroj [24]

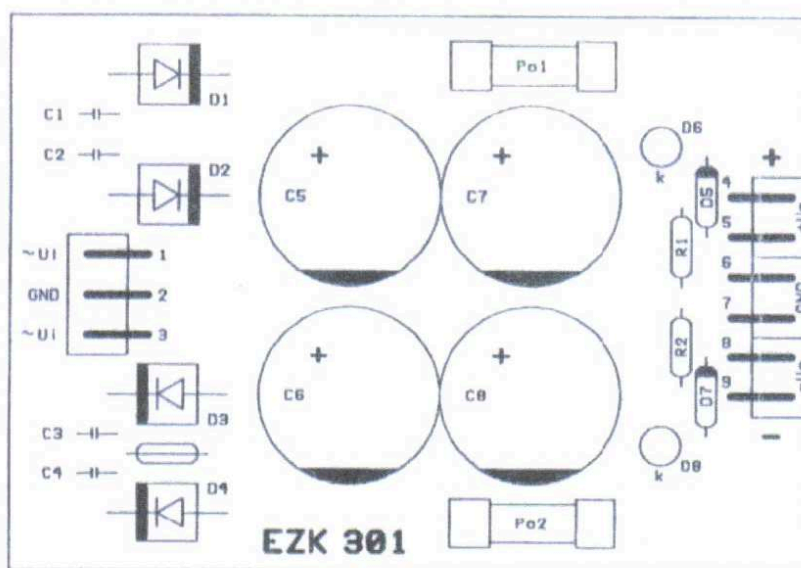
Popis vývodů

Č.vývodu	Označení	
1	Ui	Vstup Ui
2	GND	GND vstupu
3	Ui	Vstup Ui
4,5	+Uo	Kladné výstupní napětí
6,7	GND	GND výstupu
8,9	-Uo	Záporné výstupní napětí

Schéma zapojení



Rozmístění součástek

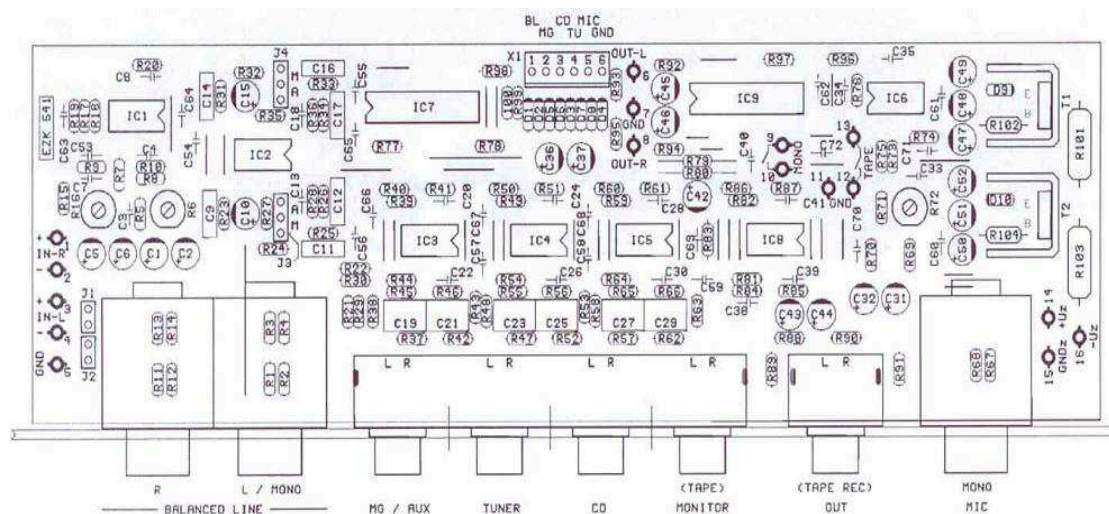


Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]

Popis vývodů

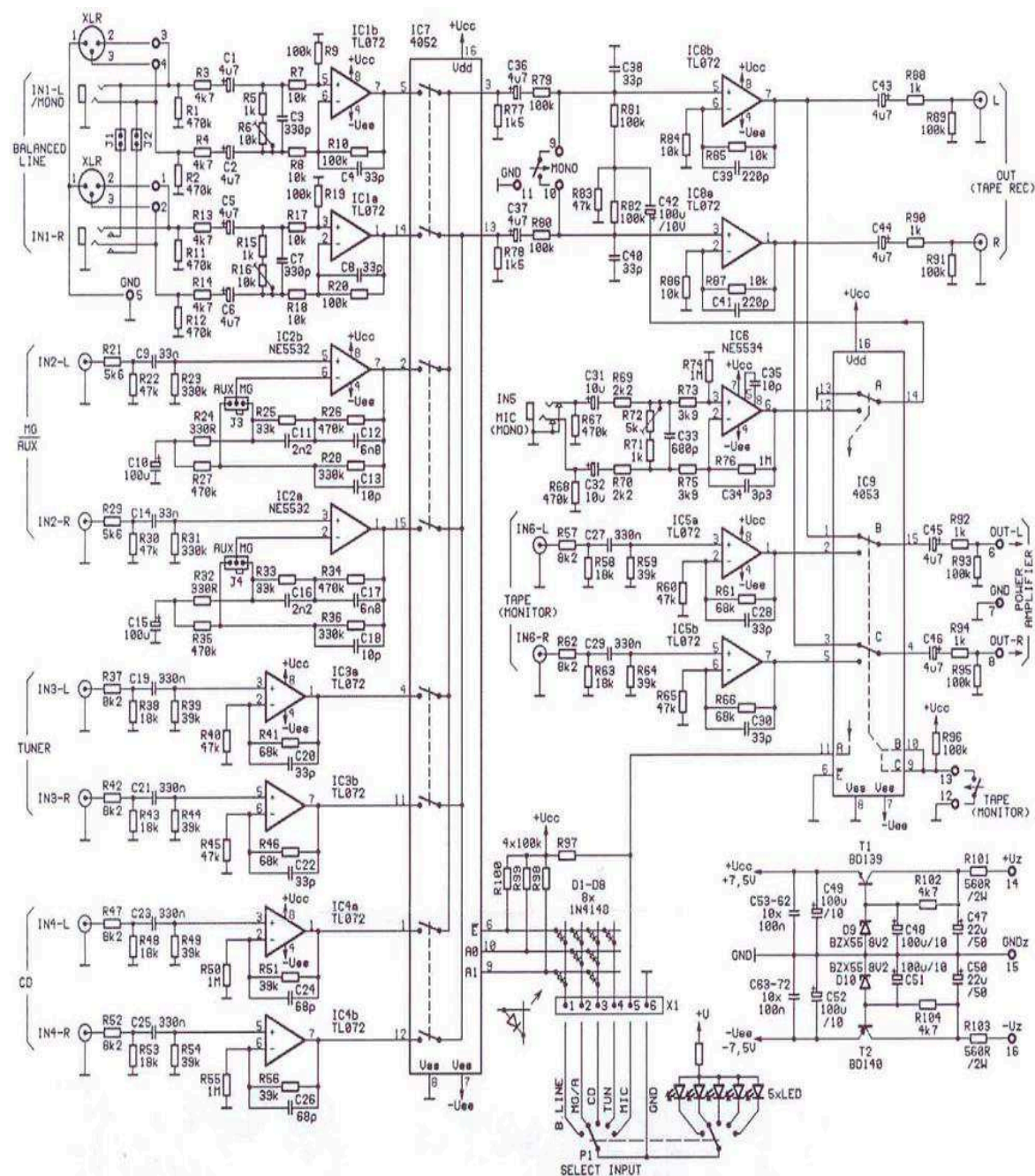
Č. vývodu	Označení	
1, 2	IN-R	symetrický vstup LINE, pravý kanál
3, 4	IN-L	symetrický vstup LINE, levý kanál
	IN2-L	nesymetrický vstup MG nebo AUX, levý kanál
	IN2-R	nesymetrický vstup MG nebo AUX, pravý kanál
	IN3-L	nesymetrický vstup TUNER, levý kanál
	IN3-R	nesymetrický vstup TUNER, pravý kanál
	IN4-L	nesymetrický vstup CD, levý kanál
	IN4-R	nesymetrický vstup CD, pravý kanál
	IN5	symetrický monofonní vstup MIC (mikrofon)
	N6-L	nesymetrický vstup TAPE (MONITOR), levý kanál
	IN6-R	nesymetrický vstup TAPA (MONITOR), pravý kanál
5	GND	zem symetrického vstupu LINE
6	OUT-L	výstup levého kanálu na výkonový zesilovač
7	GND	zem výstupu
8	OUT-R	výstup pravého kanálu na výkonový zesilovač
	L	výstup levého kanálu TAPE RECORDER
	R	výstup pravého kanálu TEPE RECORDER
9, 10	MONO	spínač monotónního provozu
11	GND	zem
12, 13	TAPE	spínač vstupu TAPE
14	+Uz	kladné napájecí napětí
15	GNDz	zem napájecího napětí
16	-Uz	záporné napájecí napětí
X1	1 až 5	přepínání vstupů
X1	6	GND pro přepínač vstupů

Rozmístění součástek



Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]

Schéma zapojení



Příloha číslo 17 – Stereofonní předzesilovač [24]

Rozpiska součástek

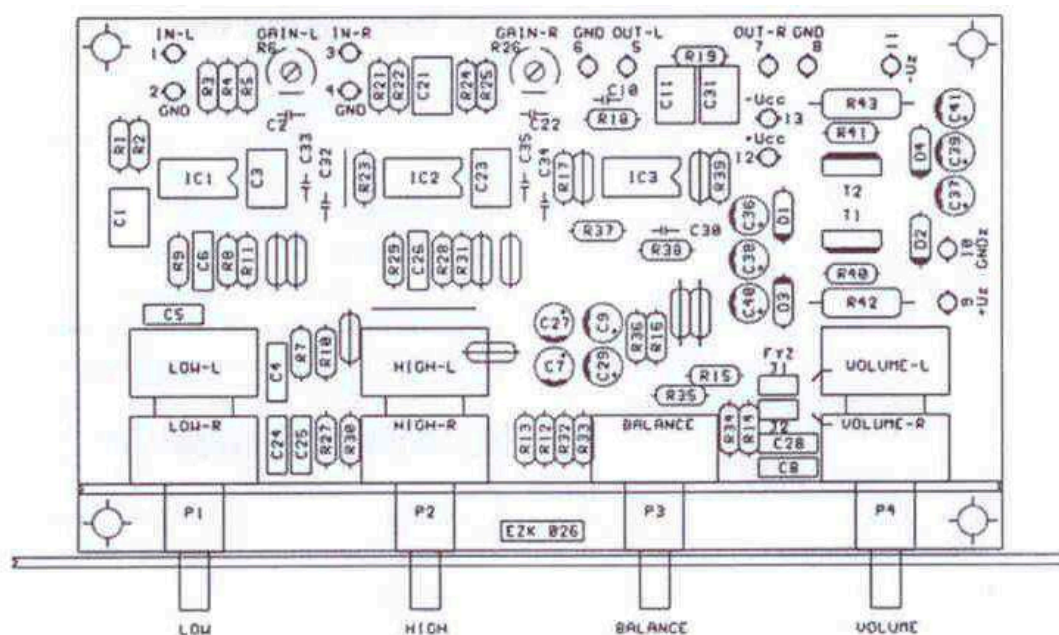
Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₁ ,R ₂ ,R ₁₁ ,R ₁₂ ,R ₂₇ ,R ₃₅ ,R ₆₇ ,R ₆₈	470k	C ₃₁ ,C ₃₂	ELRA 10M/50V
R ₃ ,R ₄ ,R ₁₃ ,R ₁₄ ,R ₁₀₂ ,R ₁₀₄	4k7	C ₃₃	TK68p
R ₅ ,R ₁₅ ,R ₇₁ ,R ₈₈ ,R ₉₀ ,R ₉₂ ,R ₉₄	1k	C ₃₄	TK3p3
R ₆ ,R ₁₆ PT6V	10k	C ₃₉ ,C ₄₁	TK220p
R ₇ ,R ₈ ,R ₁₇ ,R ₁₈ ,R ₈₄ ,R ₈₅ ,R ₈₆ ,R ₈₇	10k	C ₄₇ ,C ₅₀	ELRA 22M/50V
R ₉ ,R ₁₀ ,R ₁₉ ,R ₂₀ ,R ₇₉ ,R ₈₀ ,R ₈₁ ,R ₈₂	100k	C ₅₃ až C ₇₂	TK 100n
R ₈₉ ,R ₉₁ ,R ₉₃ ,R ₉₅ ,R ₉₆ ,R ₉₇ ,R ₉₈ ,R ₉₉ ,R ₁₀₀	100k	D ₁ ,D ₂ ,D ₃ ,D ₄ ,D ₅ ,D ₆ ,D ₇ ,D ₈	1N4148
R ₂₁ ,R ₂₉	5k6	D ₉ ,D ₁₀	BZX55/8V2
R ₂₂ ,R ₃₀ ,R ₄₀ ,R ₄₅ ,R ₆₀ ,R ₆₅ ,R ₈₃	47k	T1	BD139-16
R ₂₃ ,R ₂₈ ,R ₃₁ ,R ₃₆	330k	T2	BD140-16
R ₂₄ ,R ₃₂	330R	IC ₁ ,IC ₃ ,IC ₄ ,IC ₅ ,IC ₈	TL072
R ₂₅ ,R ₃₃	33k	IC ₂	NE 5532 AN
R ₂₆ ,R ₃₄	390k	IC ₆	NE 5534 AN
R ₃₇ ,R ₄₂ ,R ₄₇ ,R ₅₂ ,R ₅₇ ,R ₆₂	8k2	IC ₇	4052
R ₃₈ ,R ₄₃ ,R ₄₈ ,R ₅₃ ,R ₅₈ ,R ₆₃	18k	IC ₉	4053
R ₃₉ ,R ₄₄ ,R ₄₉ ,R ₅₁ ,R ₅₄ ,R ₅₆ ,R ₅₉ ,R ₆₄	39k	CIN 22 2ZP	1 ks
R ₄₁ ,R ₄₆ ,R ₆₁ ,R ₆₆	68k	CIN 28 8 ZP	1 ks
R ₅₀ ,R ₅₅ ,R ₇₄ ,R ₇₆	1M	PAT DIL 8 ST	7 ks
R ₆₉ ,R ₇₀	2k2	PAT DIL 16 ST	2 ks
R ₇₂ PT6V	5k	PSH 02-06P	1 ks
R ₇₃ ,R ₇₅	3k9	drátová spojka Ø 0.6 mm	34 ks
R ₇₇ ,R ₇₈	1k5	chladič D02 (D03)	2 ks
R ₁₀₁ ,R ₁₀₃ (Viz. Tabulka)	560R/2W	šroub M3 x 8	2 ks
C ₁ ,C ₂ ,C ₅ ,C ₆ ,C ₃₆ ,C ₃₇ ,C ₄₃ ,C ₄₄ ,C ₄₅ ,C ₄₆	ELRA 4M7/63V	podložka pérová Ø 3.2	2 ks
C ₃ ,C ₇	TK 330p	podložka Ø 3.2	2 ks
C ₄ ,C ₈ ,C ₂₀ ,C ₂₂ ,C ₂₈ ,C ₃₀ ,C ₃₈ ,C ₄₀	TK 33p	matice M3	2 ks
C ₉ ,C ₁₄	TC 33n	jumper 2 x 1	2 ks
C ₁₀ ,C ₁₅ ,C ₄₂ ,C ₄₈ ,C ₄₉ ,C ₅₁ ,C ₅₂	ELRA 100M/16V	jumper 3 x 1	2 ks
C ₁₁ ,C ₁₆	TC2n2	jumper spojka	4 ks
C ₁₂ ,C ₁₇	TC8n2	Faston VSP 2.8 x 0.8	16 ks
C ₁₃ ,C ₁₈ ,C ₃₅	TK10p	Jack 6.3 ZPJ ST	3 ks
C ₁₉ ,C ₂₁ ,C ₂₃ ,C ₂₇ ,C ₂₉	TC 330n	Plošný spoj EZK541	1ks
C ₂₄ ,C ₂₆	TK68p		

Příloha číslo 18 - Korekční zesilovač [24]

Popis vývodů

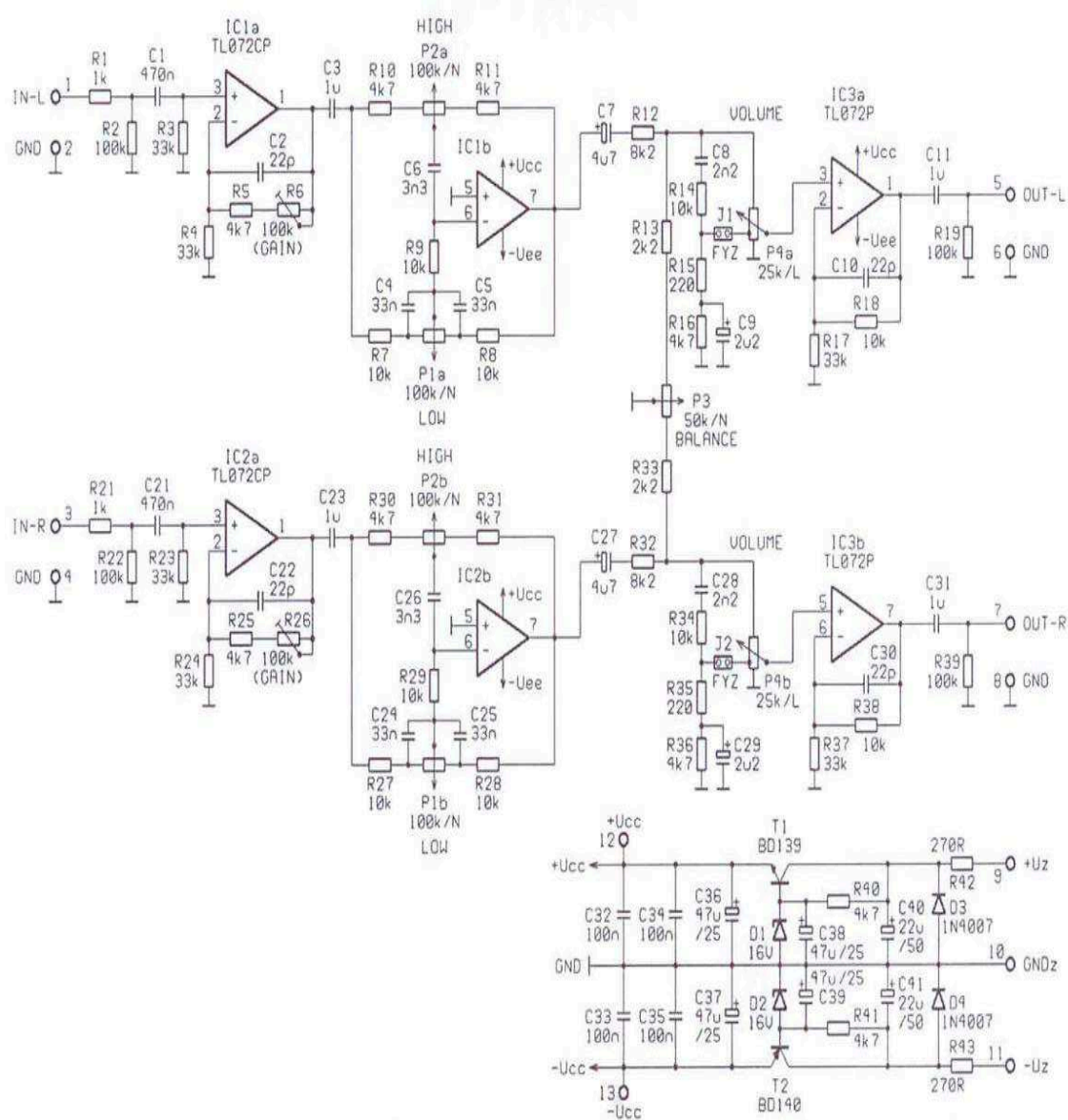
Č.vývodu	Označení	
1	IN-L	Vstup levého kanálu
2	GND	Zem vstupu
3	IN-R	Vstup pravého kanálu
4	GND	Zem vstupu
5	OUT-L	Výstup levého kanálu
6	GND	Zem výstupu
7	OUT-R	Výstup pravého kanálu
8	GND	Zem výstupu
9	+UZ	Kladné napájecí napětí
10	GNDZ	Zem napájení
11	-UZ	Záporné napájecí napětí

Rozmístění součástek



Příloha číslo 18 – Korekční zesilovač [24]

Schéma zapojení



Příloha číslo 18 – Korekční zesilovač [24]

Rozpiska součástek

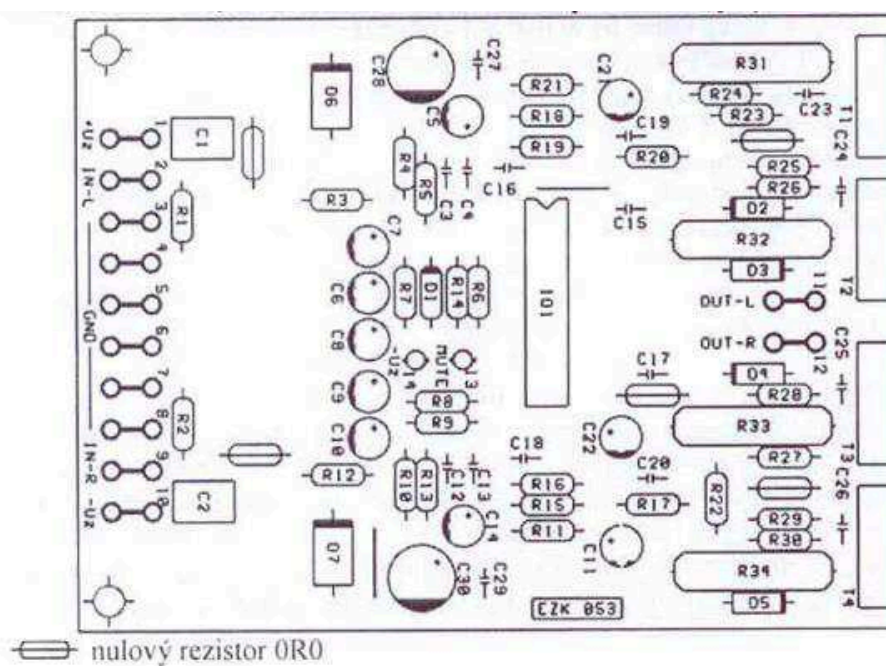
Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₁ ,R ₂₁	1k	C ₁ ,C ₂₁	TC 470n
R ₂ ,R ₁₉ ,R ₂₂ ,R ₃₉	100k	C ₂ ,C ₁₀ ,C ₂₂ ,C ₃₀	TK 22p
R ₃ ,R ₄ ,R ₁₇ ,R ₂₃ ,R ₂₃ ,R ₃₇	33k	C ₃ ,C ₁₁ ,C ₂₃ ,C ₃₁	TC 680n
R ₅ ,R ₁₀ ,R ₁₁ ,R ₁₆ ,R ₂₅ ,R ₃₀ ,R ₃₁ ,R ₃₆ ,R ₄₀ ,R ₄₁	4k7	C ₄ ,C ₅ ,C ₂₄ ,C ₂₅	TC 33n
R ₆ ,R ₂₆	PT6V 100k	C ₆ ,C ₂₆	TC 3n3
R ₇ ,R ₈ ,R ₉ ,R ₁₄ ,R ₁₈ ,R ₂₇ ,R ₂₈ ,R ₂₉ ,R ₃₄ ,R ₃₈	10k	C ₇ ,C ₂₇	ELRA 4M7/100V
R ₁₂ ,R ₃₂	2k2	C ₈ ,C ₂₈	TC 2n2
R ₁₃ ,R ₃₃	680R	C ₉ ,C ₂₉	ELRA 2M2/100V
R ₁₅ ,R ₃₅	220R	C ₃₂ ,C ₃₃ ,C ₃₄ ,C ₃₅	TK 100n monol.
R ₄₂ ,R ₄₃	270R/2W	C ₃₆ ,C ₃₇ ,C ₃₈ ,C ₃₉	ELRA 47M/100V
Nulový odpor 12 ks	0R0	C ₄₀ ,C ₄₁	ELRA 22M/100V
P ₁ ,P ₂ TP163A	2x100k/N	D ₁ ,D ₂	BZX55/16V
P ₃ TP160A	50K/N	T ₁	BD139-16
P ₄ TP163A	2x25k/L	T ₂	BD140-16
Jumper 2 x 1	2ks	IO ₁ ,IO ₂	NE5532N
Jumper spojka	2ks	IO ₃	TL072
Šroub M3 x 8	2ks	Faston 2.8 x 0.8	11ks
Podložka Ø 3.2	2ks	Patice DIL 8 ST	3ks
Podložka Ø 3.2 pér.	2ks	Chladič D01	2ks
Matice M3	2ks	Plošný spoj EZK026	1ks

Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]

Popis vývodů

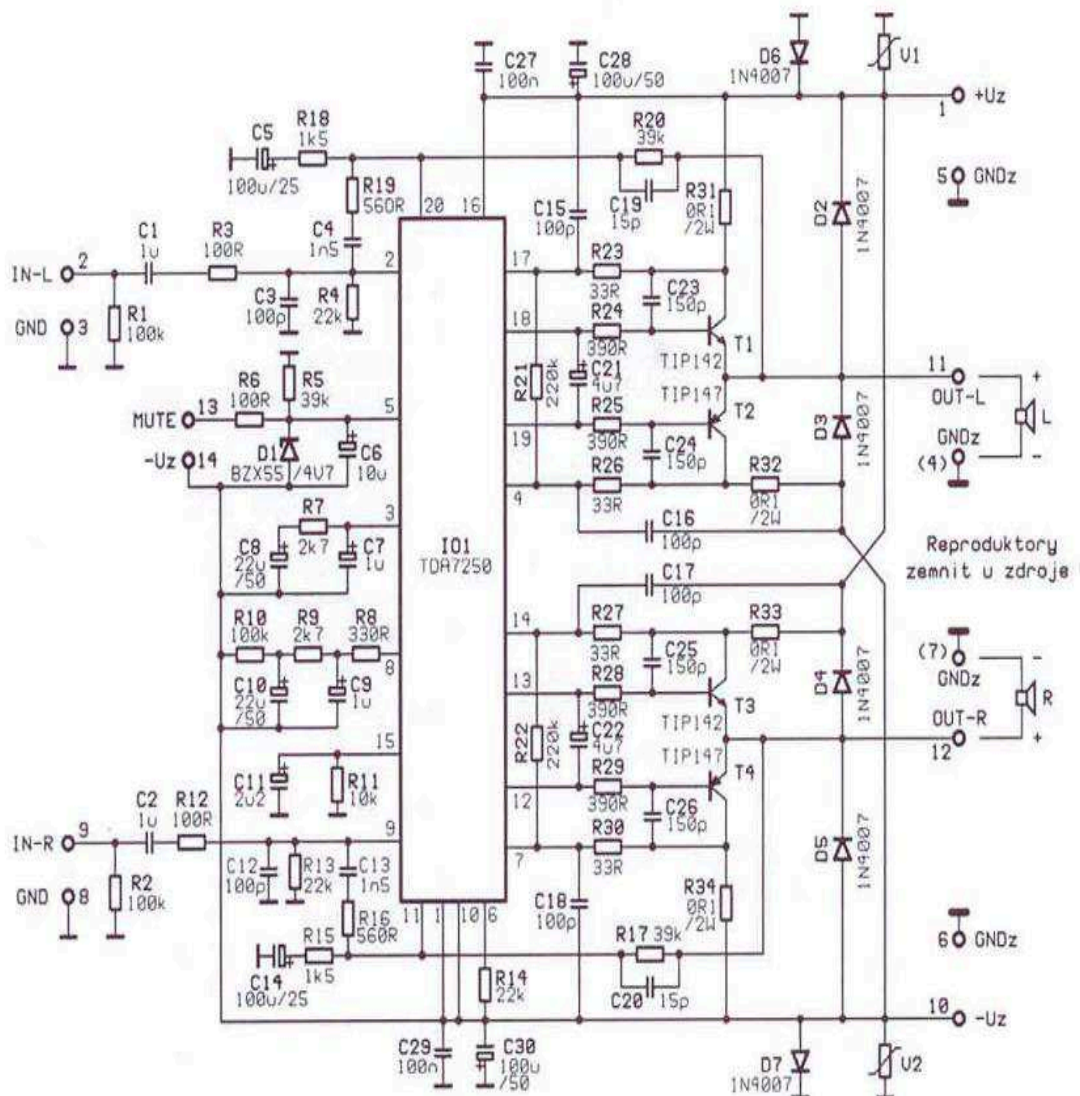
Č.vývodu	Označení	
1	+Uz	kladné napájecí napětí
2	IN-L	vstup levého kanálu
3	GND-L	zem levého kanálu
4	GND	zem
5	GND	napájecí napětí +Uz
6	GND	napájecí napětí -Uz
7	GND	zem
8	GND-R	zem pravého vstupu
9	IN-R	vstup pravého kanálu
10	-Uz	záporné napájecí napětí
11	OUT-L	výstup levého kanálu
12	OUT-R	výstup pravého kanálu
13	MUTE	nastavení MUTE a STB
14	-Uz	pro nastavení MUTE...

Rozmístění součástek



Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]

Schéma zapojení



Příloha číslo 19 – Koncový zesilovač [24]

Rozpiska součástek

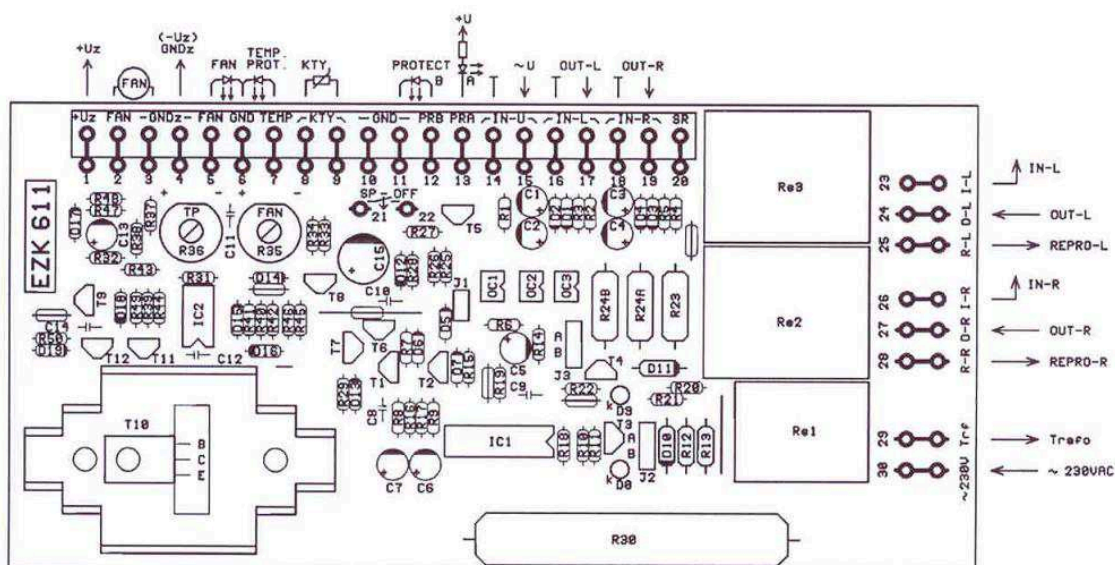
Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₁ ,R ₂ ,R ₁₀	100k	C ₁ ,C ₂	TC 1M
R ₃ ,R ₆ ,R ₁₂	100R	C ₃ ,C ₁₂ ,C ₁₅	TK 100p (zn. 101)
R ₄ ,R ₁₃ ,R ₁₄	22k	C ₁₆ ,C ₁₇ ,C ₁₈	TK 100p (zn. 101)
R ₅ ,R ₁₇ ,R ₂₀	39k	C ₄ ,C ₁₃	TK 1n5 (zn. 152)
R ₇ ,R ₉	2k7	C ₅ ,C ₁₄	ELRA 100M/25V
R ₈	330R	C ₆	ELRA 10M/50V
R ₁₁	10k	C ₇ ,C ₉	ELRA 1M/100V
R ₁₅ ,R ₁₈	1k5	C ₈ ,C ₁₀	ELRA 22M/50V
R ₁₆ ,R ₁₉	560R	C ₁₁	ELRA 2M2/100V
R ₂₄ ,R ₂₂	220k	C ₁₉ ,C ₂₀	TK 15p (zn. 15)
R ₂₃ ,R ₂₆ ,R ₂₇ ,R ₃₀	33R	C ₂₁ ,C ₂₂	ELRA 4M7/50V
R ₂₄ ,R ₂₅ ,R ₂₈ ,R ₂₉	390R	C ₂₃ ,C ₂₄ ,C ₂₅ ,C ₂₆	TK 150p (zn. 151)
R ₃₁ ,R ₃₂ ,R ₃₃ ,R ₃₄	OR10/2W	C ₂₇ ,C ₂₉	TK 100n (zn. 104)
Nulový rezistor 0R0	6ks	C ₂₈ ,C ₃₀	ELRA 100M/50V
D ₁	BZX55/4V7	Patice PAT20 DIL ST	1 ks
D ₂ ,D ₃ ,D ₄ ,D ₅ ,D ₆ ,D ₇	IN4007	Faston VSP 4,8*0,8	12 ks
T ₁ ,T ₃	TIP172	Faston VSP 2,8*0,8	2 ks
T ₂ ,T ₄	TIP147	Izolační průchodka IB2	4 ks
IO1	TDA7250	Silikonová podložka SLP TO220	4 ks
V1,V2	V47ZA7		

Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24]

Popis vývodů

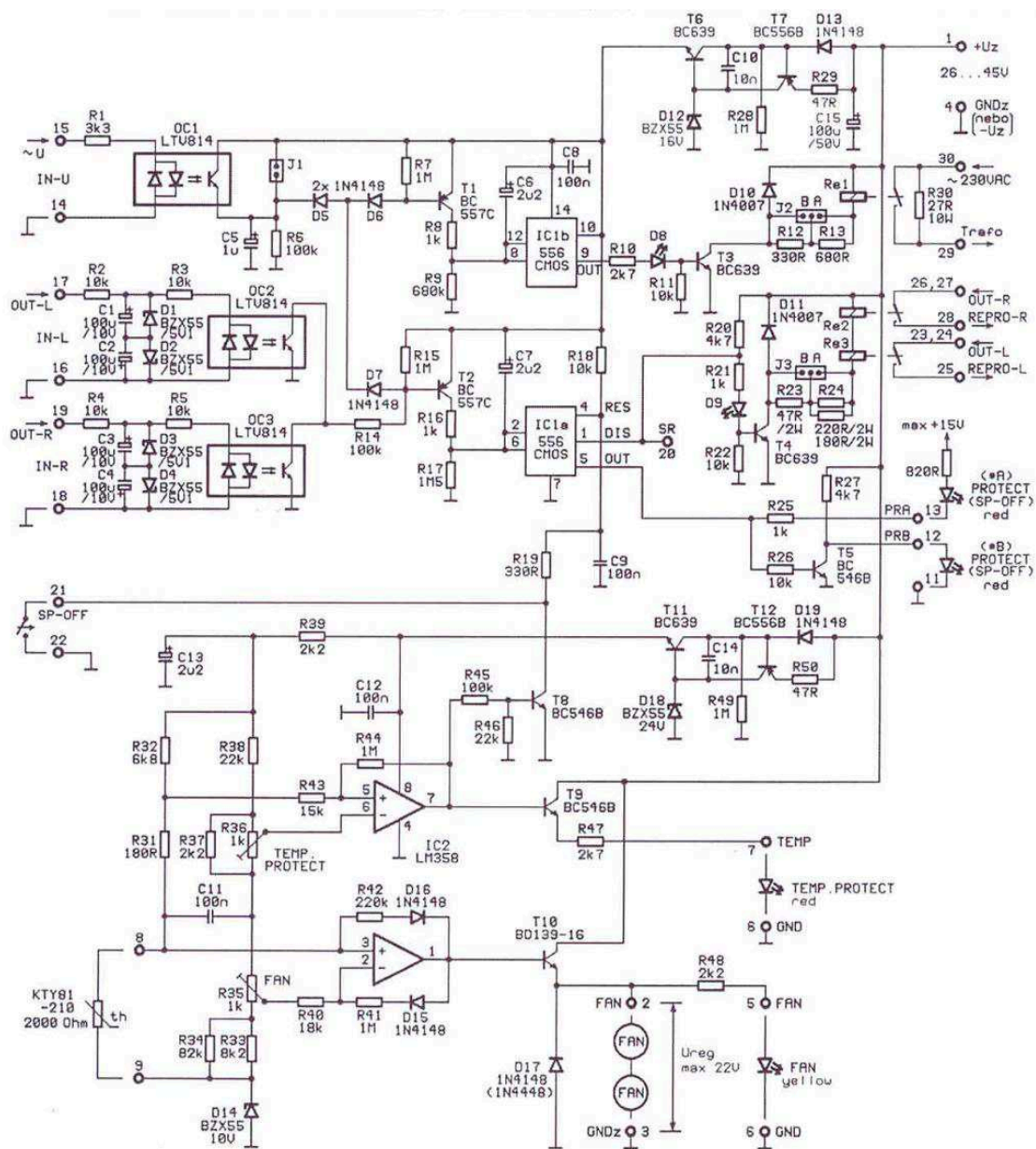
Č.vývodu	Označení	
1	+Uz	kladné napájecí napětí
2	FAN	výstup napájení ventilátorů
3	GNDz	zem ventilátorů
4	GNDz	zem napájení - záporné napájecí napětí
5	FAN	indikace led provozu ventilátorů
6	GND,K-LED PROTECT	katoda indikační led přehřátí
7	TEMP,A-LED TEMP PROTECT	anoda indikační led přehřátí
8,9		vývody čidlo KTY
10	GND	zem
11	GND,K-LED PROTECT	katoda indikační led odpojení repro
12	PRB,A-LED PROTECT	anoda indikační led odpojení repro
13	PRA,K-LED PROTECT	katoda indikační led odpojení repro
14,15	IN-U	vstup střídavého napětí transformátoru
16,17	IN-L	vstup prvního kanálu
18,19	IN-R	vstup druhého kanálu
20	SR	vstup odpojení výstupních relé
21	SP-OFF	vstup odpojení výstupních relé
22	GND	zem
23,24	OUT-L	vstup k připojení prvního výstupu zesilovače
25	REPRO-L	výstup repro první kanál
26,27	OUT-R	vstup k připojení druhého výstupu zesilovače
28	REPRO-R	výstup repro druhý kanál
29	trafo	výstup k primáru transformátoru
30	230VAC	vstup síťového napětí 230VAC

Rozmístění součástek



Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24]

Schéma zapojení



Příloha číslo 20 – Celkové ochrany [24]

Rozpiska součástek

Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₁	3k3	C ₁₅	ELRA 100M / 50V
R ₂ , R ₃ , R ₄ , R ₅ , R ₁₁ , R ₁₈ , R ₂₂ , R ₂₈	10k	D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄	BZX55/5V1
R ₆ , R ₁₄ , R ₄₅	100k	D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₁₃ , D ₁₅ , D ₁₆ , D ₁₇ , D ₁₉	1N4148
R ₇ , R ₁₅ , R ₂₈ , R ₄₁ , R ₄₄ , R ₄₉	1M	D ₈	L934LGD
R ₈ , R ₁₆ , R ₂₁ , R ₂₅	1k	D ₉	L934LYD
R ₉	680k	D ₁₀ , D ₁₁	1N4007
R ₁₀ , R ₄₇	2k7	D ₁₂	BZX55/16V
R ₁₂	330R / 0.6W	D ₁₄	BZX55/10V
R ₁₃	680R / 0.6W	D ₁₈	BZX55/24V
R ₁₇	1M5	KTY 81-210	
R ₁₉	330R	T ₁ , T ₂	BC557C
R ₂₀ , R ₂₇	4k7	T ₃ , T ₄ , T ₆ , T ₁₁	BC639
R ₂₃	47R / 2W	T ₅ , T ₈ , T ₉	BC546B
R ₂₄	220R / 2W	T ₇ , T ₁₂	BC556B
R ₂₄	180R / 2W	T ₁₀	BD139-16
R ₂₉ , R ₅₀	47R	OC1, OC2, OC3	LTV814
R ₃₀	27R / 10W	IC1	556 CMOS
R ₃₁	180R	IC2	LM358
R ₃₂	6k8	Re ₁	RAS- 2415
R ₃₃	8k2	Re2, Re3	FRA12-WD
R ₃₄	82k	CHL - D101	1ks
R ₃₅ , R ₃₆ PT 10LV	1k	šroub M3 x 10	1ks
R ₃₇ , R ₃₉ , R ₄₈	2k2	šroub M3 x 6	2ks
R ₃₈ , R ₄₆	22k	podložka Ø3.2	3ks
R ₄₀	18k	podložka Ø3.2 pérová	1ks
R ₄₂	220k	matice M3	3ks
R ₄₃	15k	PAT DIL 8ST	1ks
nulový rezistor	6ks	PAT DIL 14ST	1ks
drát. spojka Ø0.6mm	1ks	FASTON 2.8 x 0.8	2ks
drát. spojka Ø0.8mm	1ks	FASTON 4.8 x 0.8	22ks
C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	ELRA 100M / 10V	FASTON 6.3 x 0.8	6ks
C ₅	ELRA 1M / 63V	JUMPER 2 x 1	1ks
C ₆ , C ₇ , C ₁₃	ELRA 2M2 / 63V	JUMPER 3 x 1	2ks
C ₈ , C ₉ , C ₁₁ , C ₁₂	TK 100n	JUMPER SPOJKA	3ks
C ₁₀ , C ₁₄	TK 10n	plošný spoj EZK611	1ks

Příloha číslo 21 – Indikátory úrovně výkonu [24]

Popis vývodů

Č.vývodu	Označení	
1	IN	vstup
2	GND	zem vstupu
3	+U _z	kladné napájecí napětí
4	GND	zem napájení

Rozmístění součástek

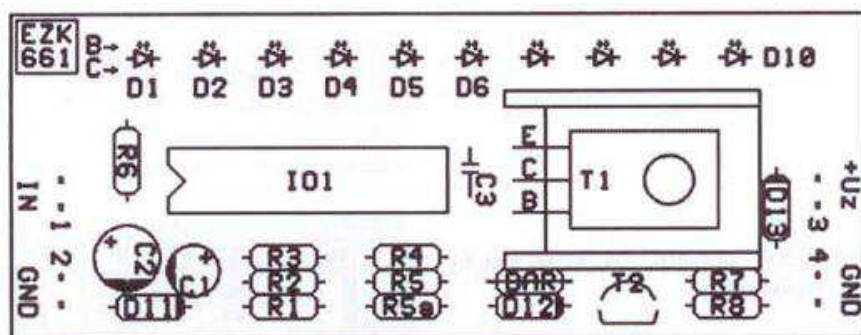
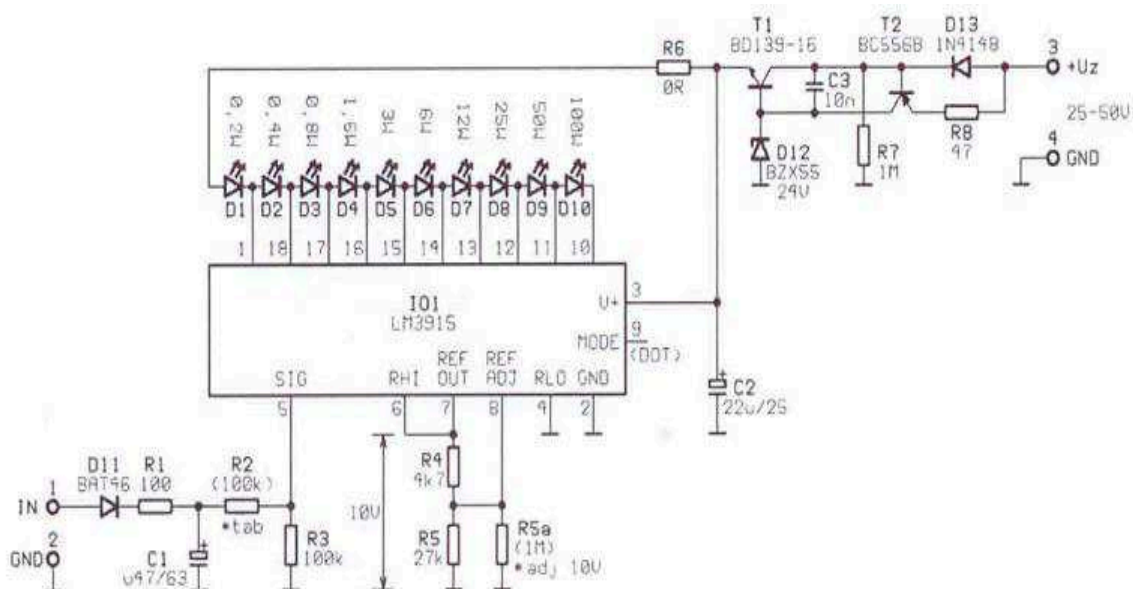


Schéma zapojení

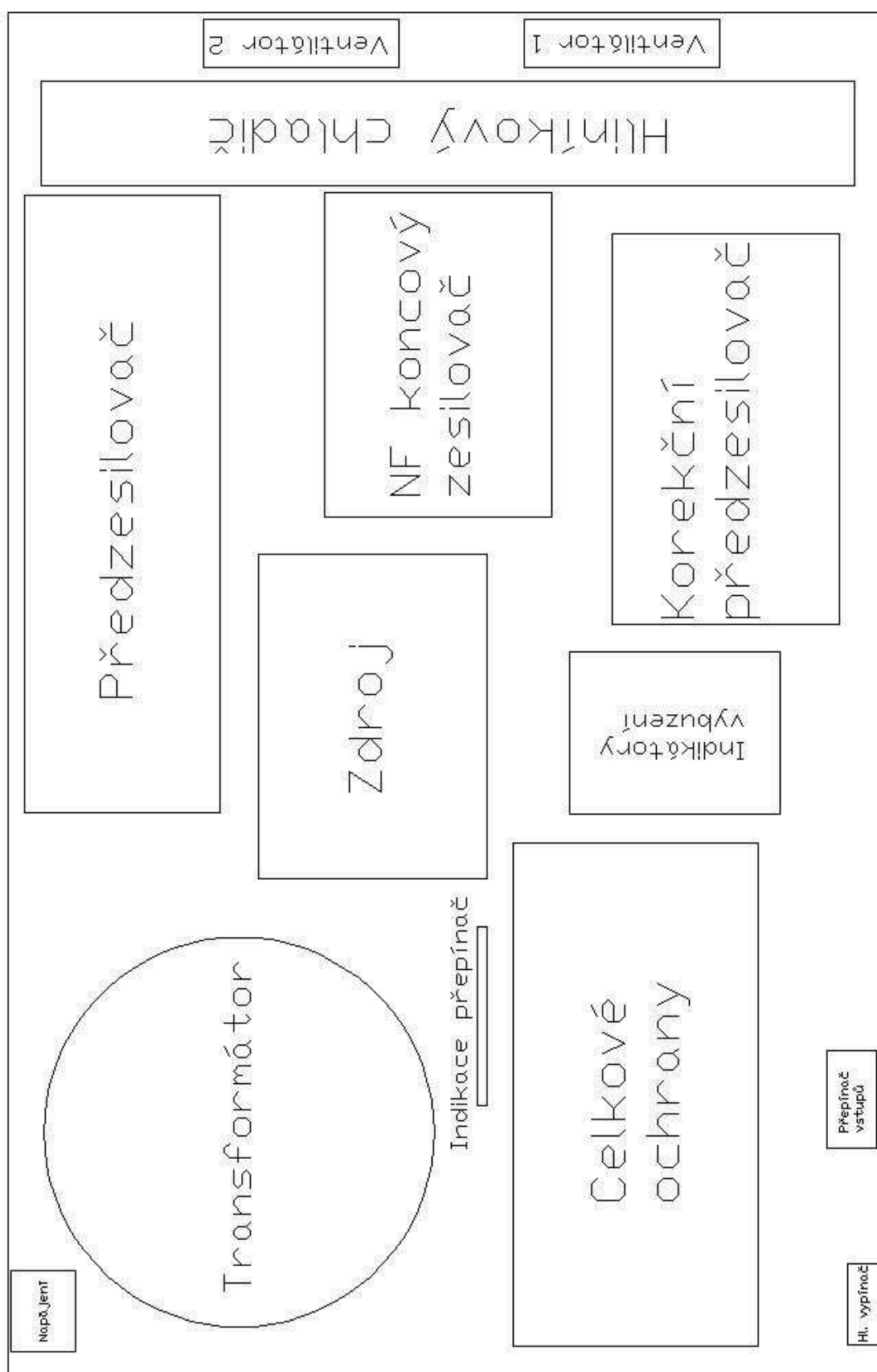


Příloha číslo 21 – Indikátory úrovně výkonu [24]

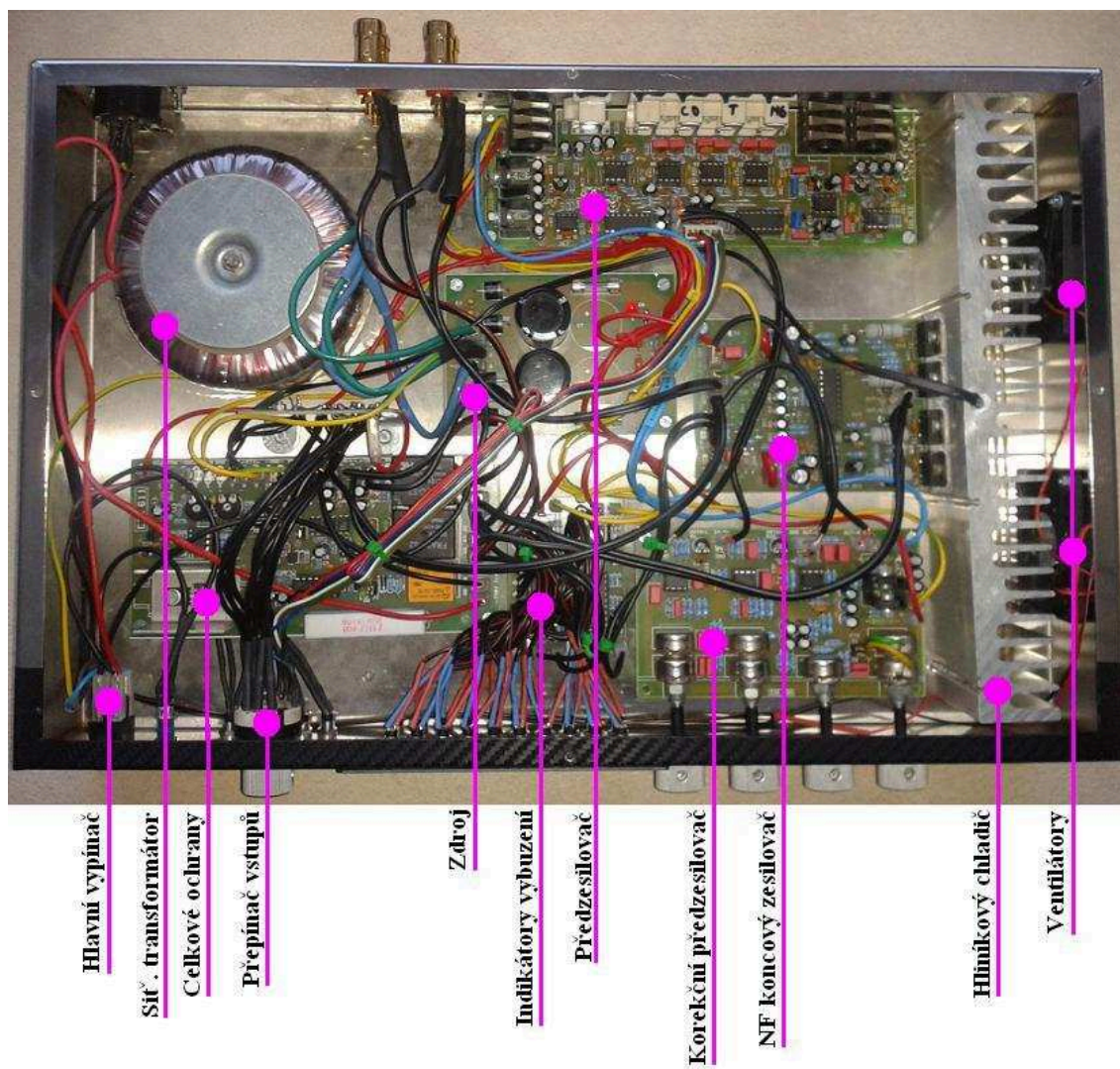
Rozpiska součástek

Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₁	100R	T ₁	BD139-16
R ₂	150k	T ₂	BC556B
R ₃	82k	IO ₁	LM3915
R ₄	4k7	C ₁	ELRS M47/63V
R ₅	27k	C ₂	ELRS 22M/25V
R _{5a} , R ₇	1M	C ₃	TK10n
R ₆	0R0	Chladič D01	1ks
R ₈	47R	PAT DIL18ST	1ks
D ₁ až D ₇	L934LGD	faston VSP2.8 x 0.8	4ks
D ₈	L934LYD	Šroub M3 x 8	1ks
D ₉ , D ₁₀	L934LID	Matice M3	1ks
D ₁₁	BAT46	Podložka 3.2	1ks
D ₁₂	BZX55/24V	Podložka pérová 3.2	1ks
D ₁₂	1N4148	Plošný spoj EZK661	1ks

Příloha číslo 22– Rozmístění modulů ve skříni zesilovače



Příloha číslo 23 – Popis modulů v zesilovači

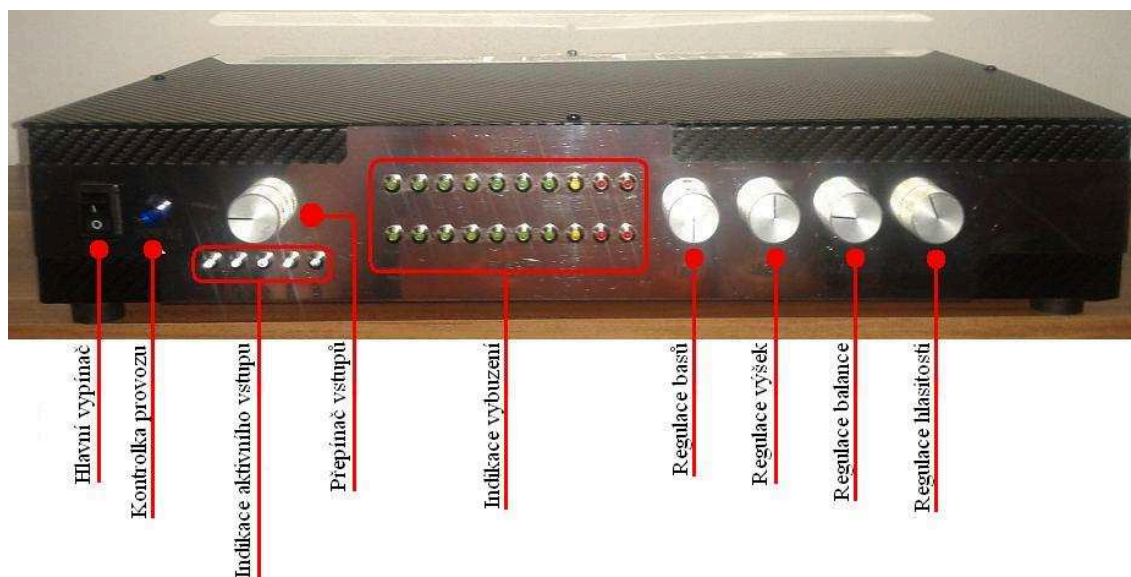


Kabeláž:

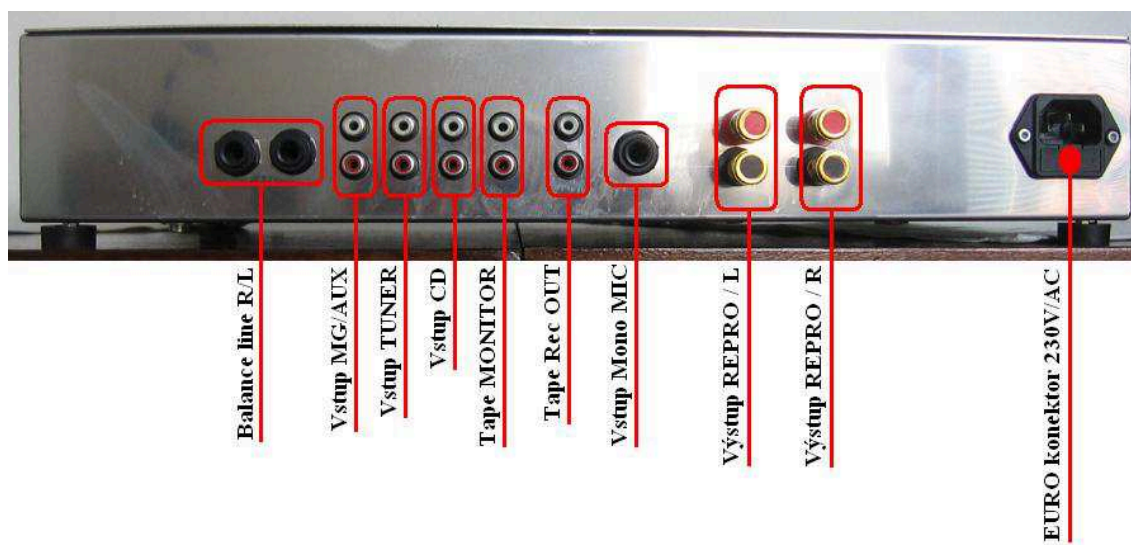
- - kladné napájecí napětí
- - záporné napájecí napětí
- - zem napájecího napětí

Příloha číslo 24 – Popis předního a zadního panelu zesilovače

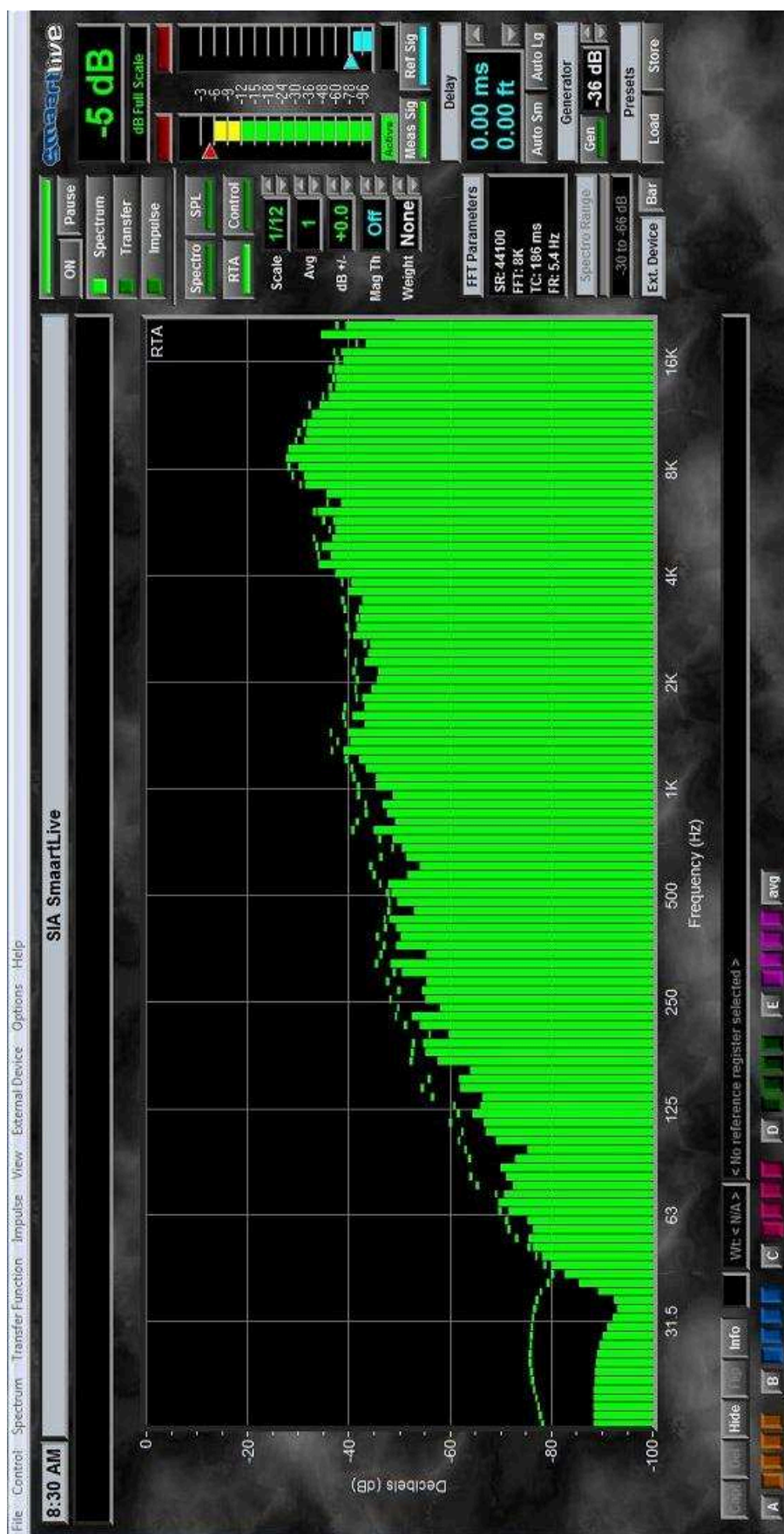
Přední panel



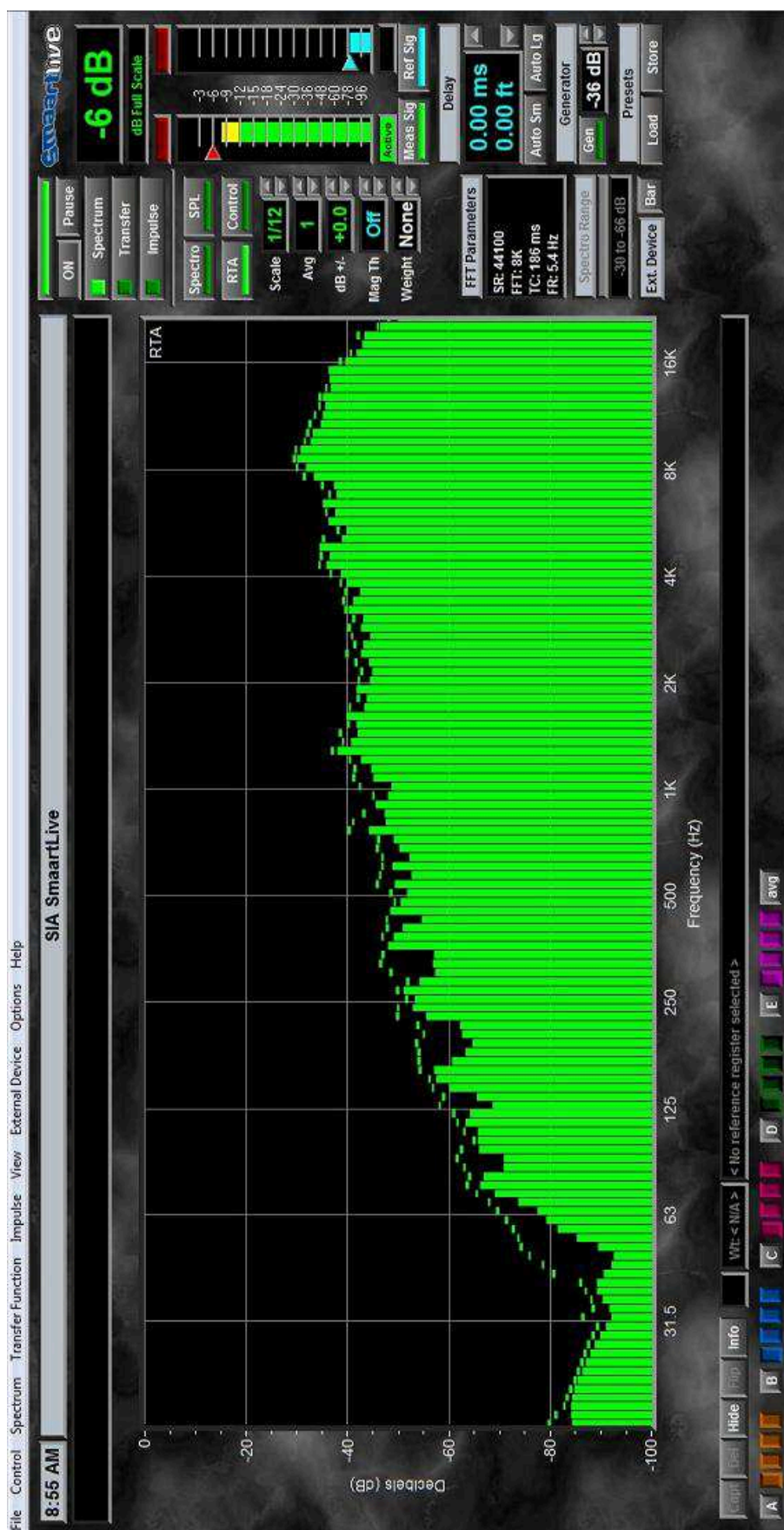
Zadní panel



Příloha číslo 25 – Frekvenční analýza 1. reproduktoru



Příloha číslo 26 – Frekvenční analýza 2. reproduktoru



Příloha číslo 27 – Naměřené hodnoty pro směrové charakteristiky

Reproduktor 1 – pravý kanál

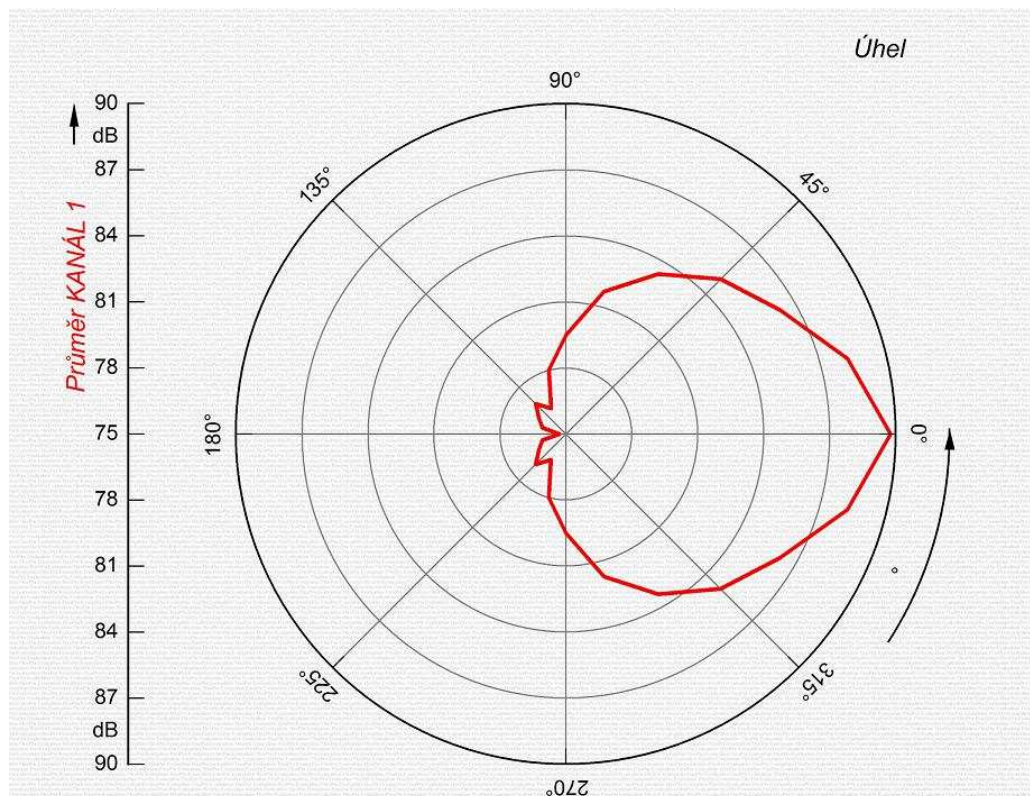
Úhel [°]	Minimum [dB]	Maximum [dB]	Průměr [dB]
0	88,6	90,9	89,75
15	87,2	89,3	88,25
30	85,7	86,8	86,25
45	83,9	86	84,95
60	82,6	84,2	83,4
75	80,7	82,7	81,7
90	78,7	80,3	79,5
105	77,1	78,9	78
120	75,4	77,3	76,35
135	76	77,9	76,95
150	75,7	77,1	76,4
165	75,3	76,9	76,1
180	73,9	76,7	75,3

Reproduktor 2 – levý kanál

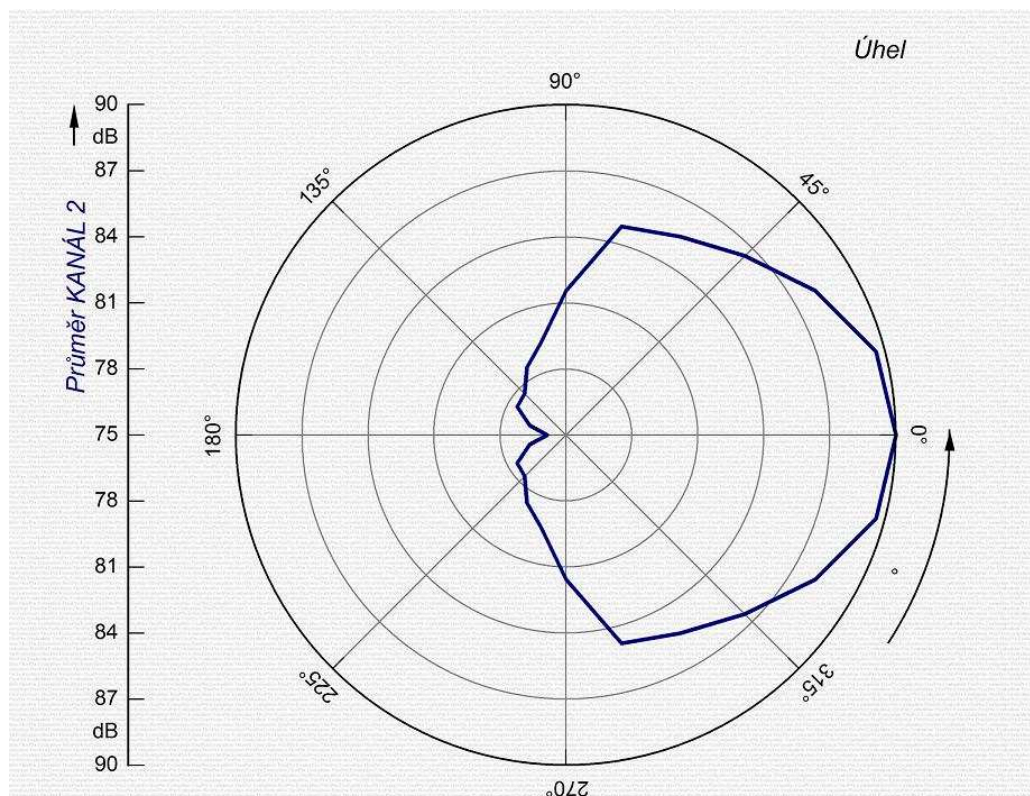
Úhel [°]	Minimum [dB]	Maximum [dB]	Průměr [dB]
0	88,3	91,9	90,1
15	89	90,2	89,6
30	87,5	88,7	88,1
45	85,9	87,1	86,5
60	84,2	86,6	85,4
75	84,1	85,5	84,8
90	80,7	82,4	81,55
105	78,3	80,4	79,35
120	77,6	79,5	78,55
135	76,9	78,4	77,65
150	76,6	78,5	77,55
165	76,1	77,3	76,7
180	74,9	76,8	75,85

Příloha číslo 28 – Směrové charakteristiky reproduktorů

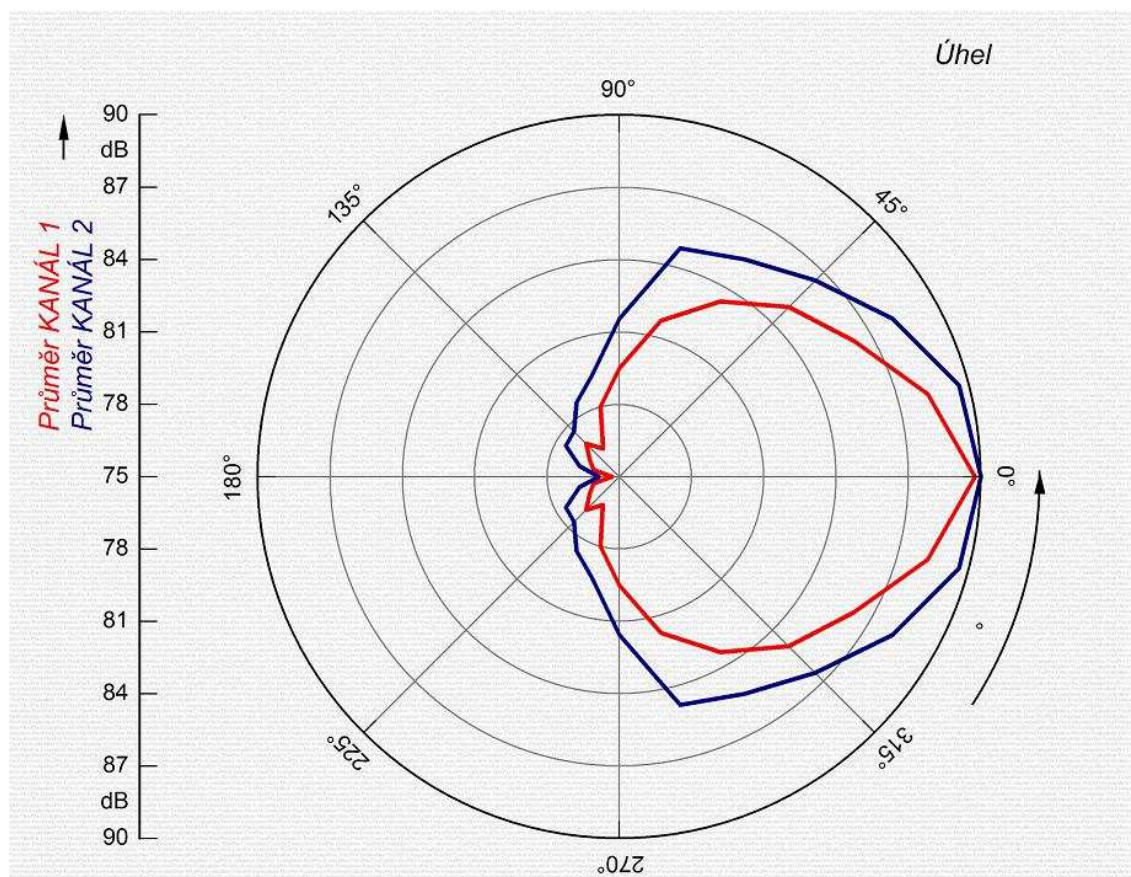
Reproduktor 1 – pravý kanál



Reproduktor 2 – levý kanál

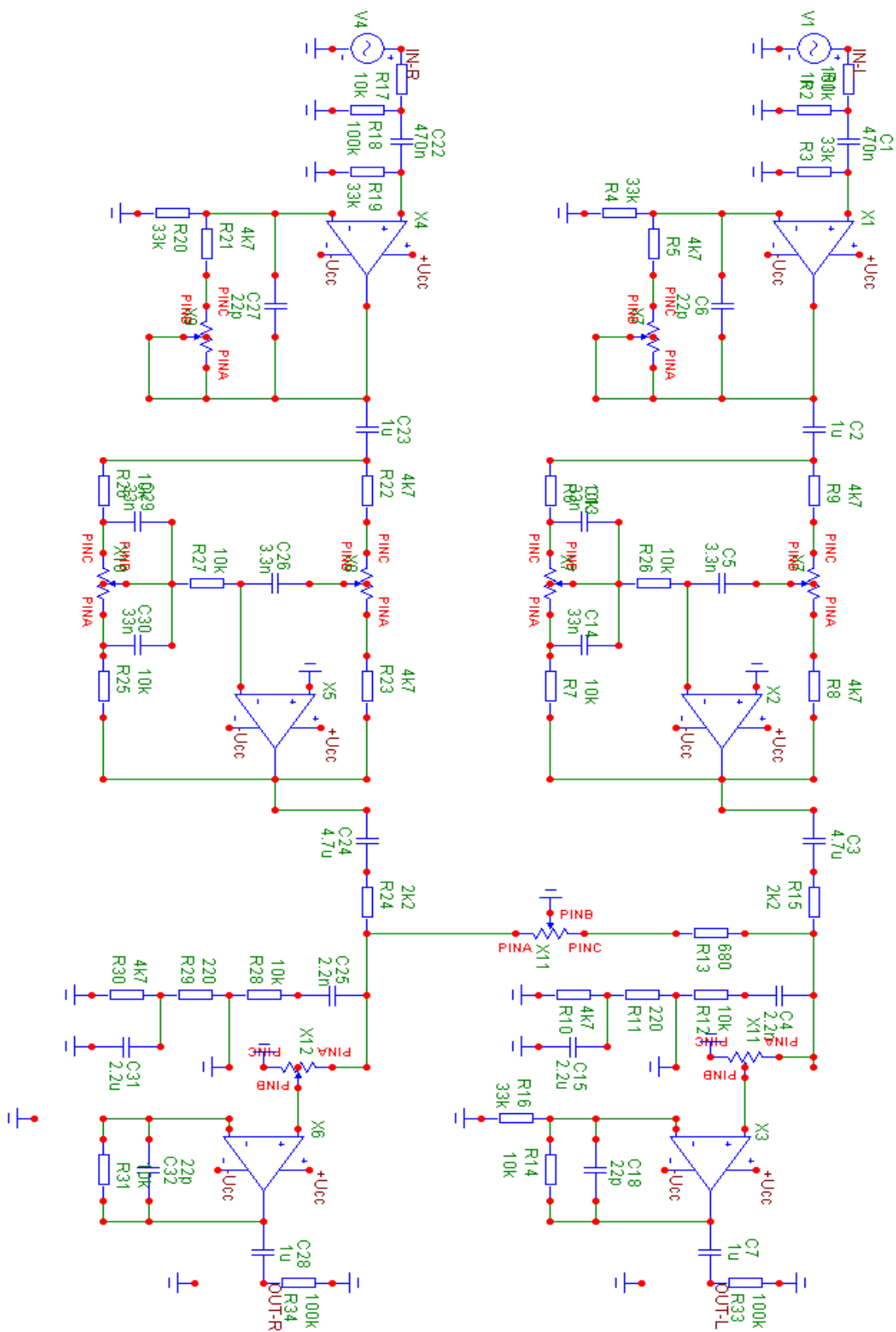


Příloha číslo 29 – Porovnání směrových charakteristik



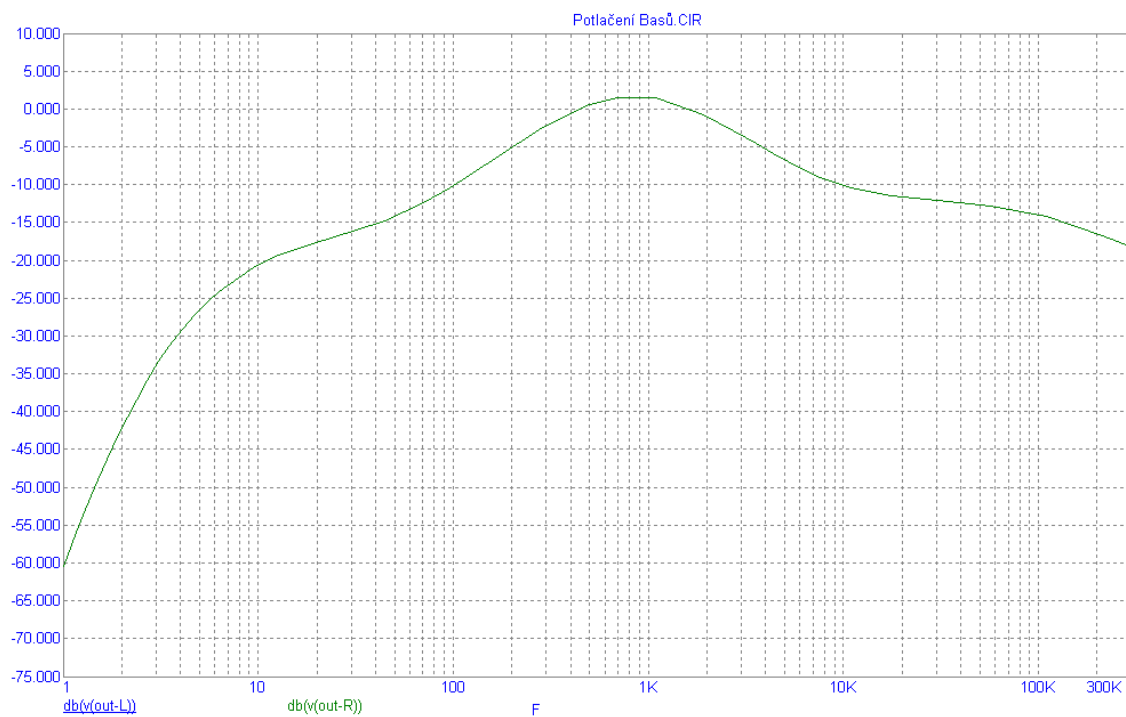
Příloha číslo 30 – Simulace potlačení a zvýraznění basů a výšek

Schéma zapojení

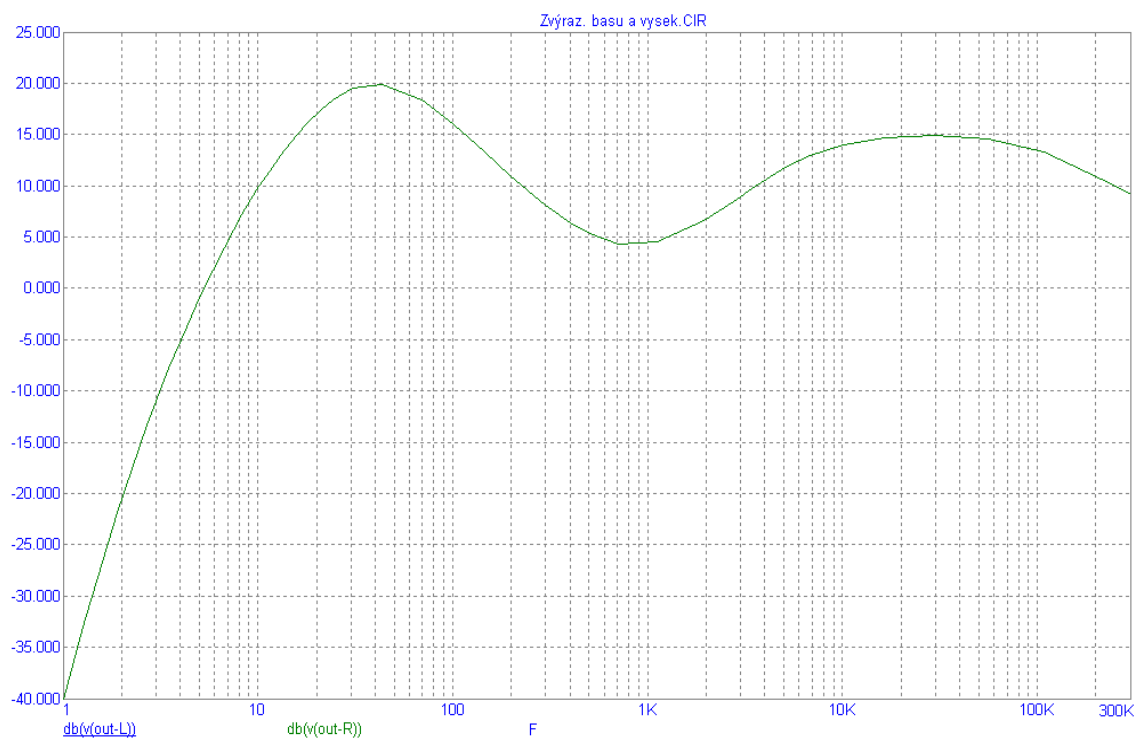


Příloha číslo 31 – Simulace potlačení a zvýraznění basů a výšek

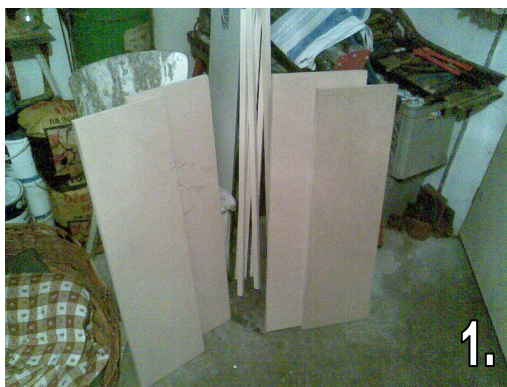
Potlačení basů



Zvýraznění basů a výšek



Příloha číslo 32 – Foto dokumentace výroby reproduktorové soustavy





7.



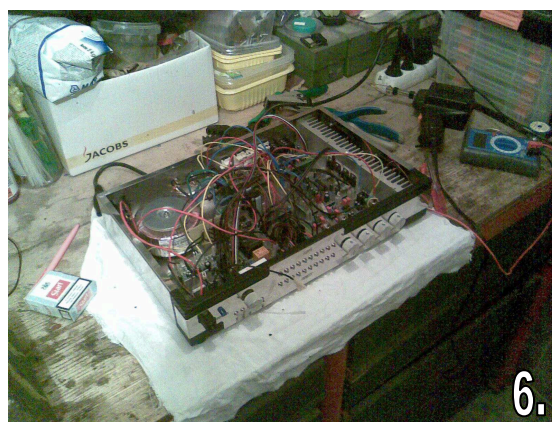
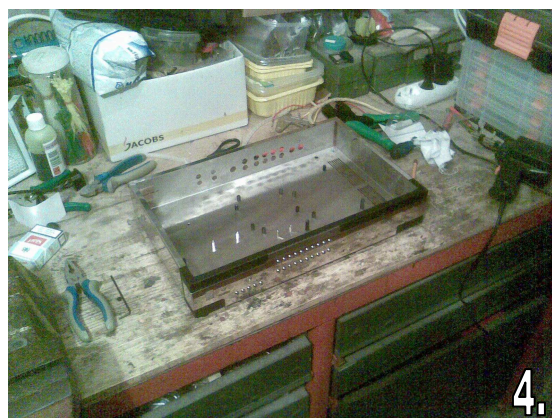
8.



9.

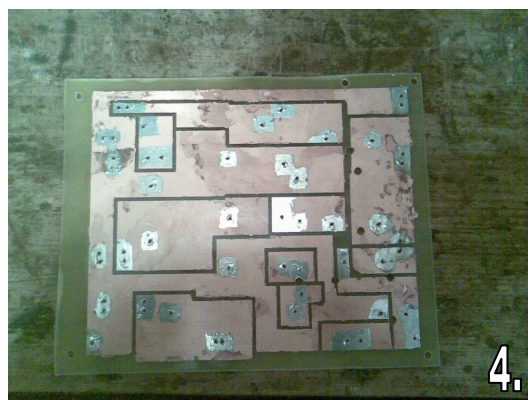
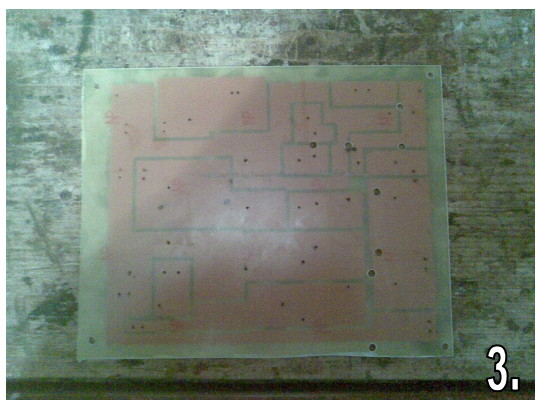
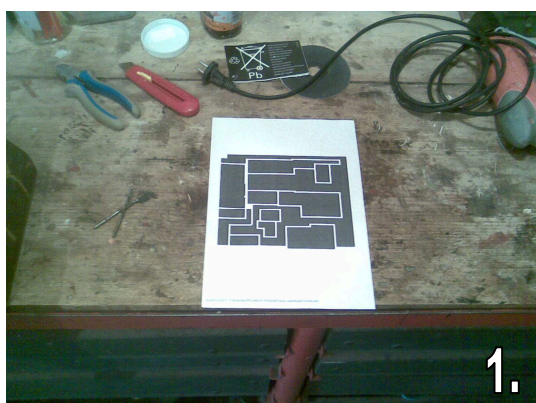
Kompletní foto dokumentace viz přiložené CD soubor “Reproduktorová soustava – Foto“

Příloha číslo 33 – Foto dokumentace výroby NF zesilovače



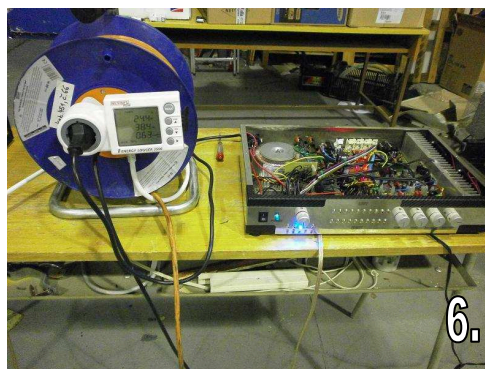
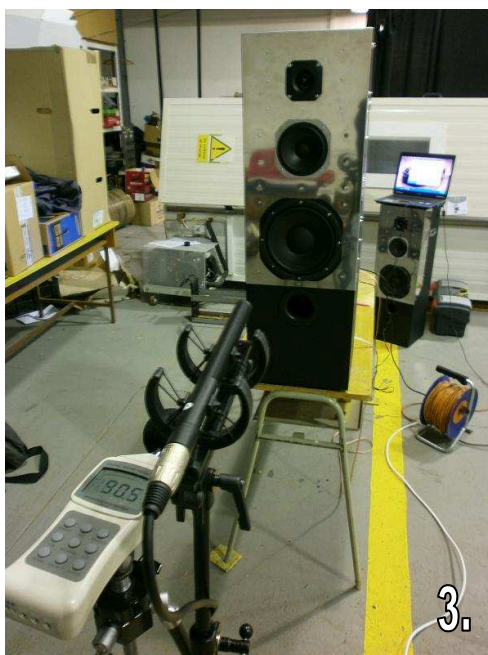
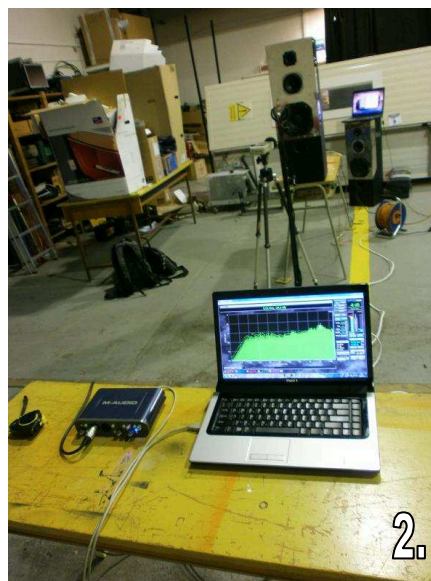
Kompletní foto dokumentace viz příložené CD soubor “Zesilovač – Foto”

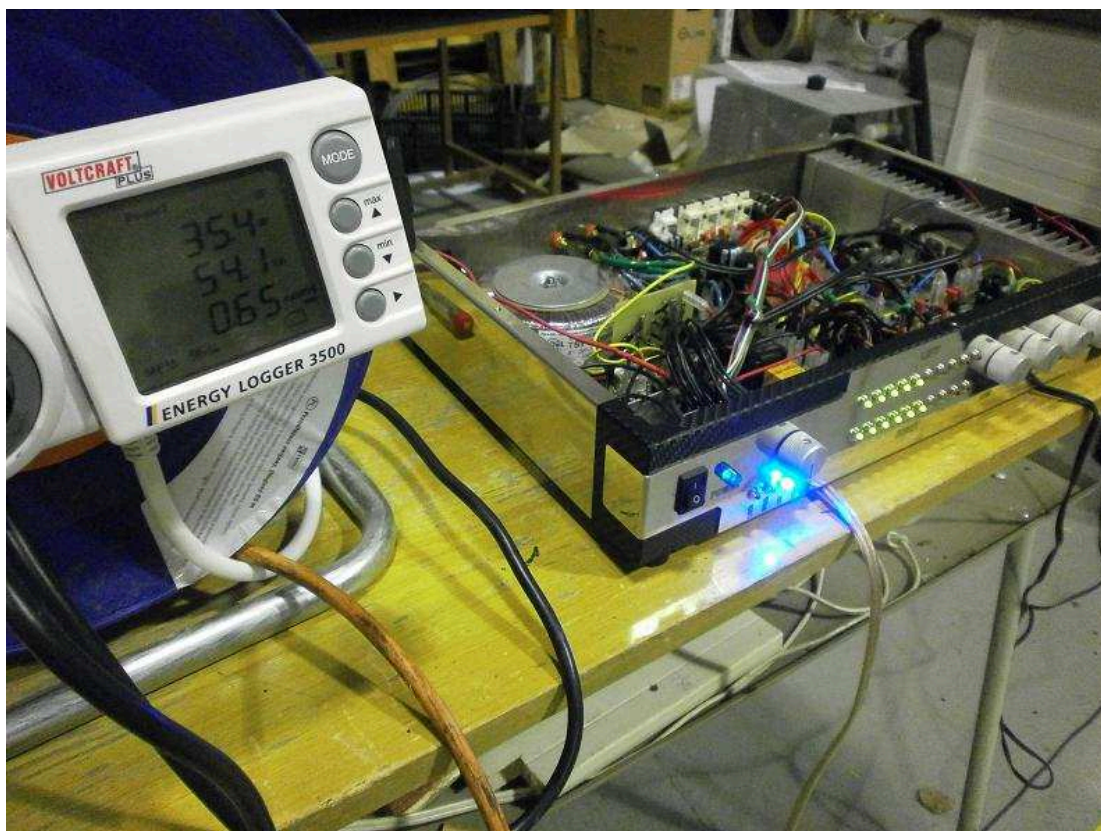
Příloha číslo 34 – Foto dokumentace výroby reproduktorové výhybky



Kompletní foto dokumentace viz přiložené CD soubor “ Výhybky – Foto “

Příloha číslo 35 – Foto dokumentace měření na audiosoustavě





Kompletní foto dokumentace viz příložené CD soubor “ Měření – Foto “

Příloha číslo 36 – Kompletní audiosoustava

